HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	稲麦二毛作における麦藁処理技術の開発に関する研究
Author(s)	田坂, 幸平
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(農学)
Dissertation Number	乙第5163号
Issue Date	1997-03-25
DOI	https://doi.org/10.11501/3122439
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/51437
Type	doctoral thesis
File Information	000000307629.pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

裸麦二毛作における麦藁処理技術の開発に関する研究

田坂幸平

(1)

稲麦二毛作における麦藁処理技術の開発に関する研究

田　坂　幸　平

目　次

緒　　論　6

第Ⅰ章　稲麦二毛作と藁処理をめぐる諸問題　8

1　稲麦二毛作の変遷と現状　8

1）稲麦二毛作の変遷　8

2）稲麦二毛作の地域別動向と現状　10

2　稲麦二毛作の特徴と問題点　13

1）気候的特徴　13

2）技術的特徴と問題点　15

3　コンバインの普及と藁処理装置の変遷　18

1）コンバインの開発と普及　18

2）コンバインの藁処理装置の変遷　19

4　藁処理をめぐる研究の概要　22

1）研究の概要　22

2）栽培・土壌肥料分野の研究　23

3）機械・作業技術分野の研究　24

5　本研究の目的　25

第Ⅱ章　麦藁の浮遊と沈下　27

1　本章の目的　27

2　麦藁の物質的特性　27

3　麦藁の沈下特性に関する室内試験　29
1）試験2-1：麦藁の長さと切断方法の影響　30
2）試験2-2：麦藁の部位の影響　33
3）試験2-3：品種と部位の影響　34
4）試験2-4：水温の影響　38
4　圃場における麦藁の浮遊率の調査　38
1）試験方法　38
2）試験結果　39
5　試験結果の考察　40
6　本章のまとめ　40

第Ⅲ章　麦藁の浮遊と沈下の理論的解析　42
1　本章の目的　42
2　麦藁の比重の定義と形状のモデル化　43
1）麦藁の比重の定義　43
2）麦藁の浮遊と沈下の定義　44
3）麦藁の質量および体積の計算式　44
3　試験方法　48
1）試験3-1：水に浮かべた麦藁のみかけ比重の増加　48
2）試験3-2：水中に沈めた麦藁のみかけ比重の増加　48
4　試験結果および考察　49
1）風乾時の麦藁の質量および体積の計算　49
2）試験結果　51
3）麦藁の体積，実比重，水分の計算式　54
4）吸水による麦藁の体積，実比重，水分の増加　57

5）考察　61
5　本章のまとめ　62

第Ⅳ章　麦藁縦切断装置の開発　64
1　本章の目的　64
2　麦藁の縦切断の原理　64
3　麦藁縦切断用定置試験装置の開発　69
1）試験方法　69
2）試験結果および考察　70
4　コンバイン装着型麦藁縦切断装置1号機の開発　72
1）装置の構造　72
2）試験方法　75
3）試験結果および考察　76
5　本章のまとめ　78

第Ⅴ章　コンバイン装着型麦藁縦切断装置の開発　79
1　本章の目的　79
2　コンバイン装着型麦藁縦切断装置2号機の開発　79
1）装置の構造　79
2）試験方法　83
3）試験結果および考察　84
3　コンバイン装着型麦藁縦切断装置3・4号機の開発　84
1）装置の構造および試験方法　84
2）試験結果および考察　88
4　縦切断刃の溝の深さの検討　89

1）麦藁の直径の調査　90
2）麦藁の節の直径の調査　90
3）調査結果および考察　90
5　コンバイン装着型麦藁縦切断装置5・6号機の開発　92
1）装置の構造および試験方法　92
2）試験結果および考察　97
6　麦藁縦切断装置の性能比較と総合考察　98
1）各機種間の性能比較　98
2）総合考察　100
7　負荷特性試験　102
1）試験方法　102
2）試験結果　104
8　稲藁の縦切断　106
1）稲藁の直径の調査　106
2）縦切断試験　107
9　本章のまとめ　108

摘　要　111

謝　辞　116

引用文献　117

緒　論

「おぼれる者はわら（藁）をもつかむ」とは，危急のときにはどんなものにも頼ろうとする意味のことわざである[1]。このことわざは，藁が水の上に浮くという前提に基づいて作られているが，同時に，藁はおぼれる者を助けるほどの浮力を持たないことを意味している。このことわざに出てくる藁が稲藁と麦藁のどちらであるかは不明であるが，このような藁の浮力は水田の農作業においては障害となる。

関東以南，つまり関東から九州地方にかけての稲麦二毛作において，コンバインで細断して圃場に散布した麦藁は，水稲作付のための耕うん・代かき後に，土壌の表面を覆って田植作業に障害を与え，浮き苗，転び苗など移植精度の低下，欠株発生の原因となる。また，湛水面上に浮遊する麦藁は風によって畦畔ぎわに押し流され，正常に植え付けられた苗を押し倒してしまう場合もある。

一方，東北，北海道地方の水稲単作地帯では，秋に圃場にすき込んだ稲藁が春の代かき後に水面上に浮かび上がり，上記と同様の問題を引き起こすこともある[2]。

このような問題を解決するため，現場で採用された最も現実的で簡便な方法は藁を焼却することであったが，煙害が問題になるとともに，有機物資源として有効な藁を焼却してしまうことの是非が問われ始めた。

稲藁では，牛舎の敷き藁や飼料，堆肥としての価値が存在するため[3]，コンバインによる切断散布とは別に，結束して圃場外に搬出して利用することもある。しかし，麦藁では粗飼料としての価値も低く[4]，稲藁のような多様な用途も少なく，また搬出して堆肥に利用するには，田植えまでの日数が少ない上に

多様な作業が輻輳して手が回らないため，コンバインによって切断散布し，焼却やすき込みによる処理方法が一般的となった。

従来，このような藁類は堆肥化して水田に戻すことが習慣となっていたが，金肥に対比して多大な労力を必要とするためほとんど行われなくなり，地力低下の大きな原因となった。このため，作業労力の軽減と地力向上を図るため，水田における稲藁のすき込みが奨励されるようになる。1970年代以降になると，稲麦二毛作体系の中でコンバインの麦藁処理手法を確立するため，麦藁すき込み試験が数多く実施された。

これらの試験の中で，ロータリによるすき込みの試験では，耕うん時に麦藁の埋没率を増加させる方法，あるいは代かき時に藁の浮遊率を低下させる方法を中心に検討されてきた。また，麦藁の切断長を変えたり，麦藁に圧砕処理を加えて耕うん後の埋没率や代かき後の浮遊率を低下させる方法も試みられたが，いずれも根本的な解決法ではなく実用化に至らなかった。

このような経過の中で，著者は，さまざまに処理を施した麦藁の沈下率を測定し，縦切断された麦藁が極めて速く水中に沈下することに着目し，麦藁を圃場に散布する前に連続的に縦切断する装置を内蔵した排藁カッタを考案し，コンバイン装着型の麦藁縦切断装置を開発した[5)6)]。

本研究による一連の開発研究は，農林水産省の広報誌[7)]，新聞[8)]，ラジオ等を通して世の中に広く紹介されるとともに，本研究で開発した藁処理機構は1995年に特許を認定された[9)]。

第Ⅰ章　稲麦二毛作と藁処理をめぐる諸問題

1　稲麦二毛作の変遷と現状

従来，水田に稲と麦の二毛作を行うことを「水田二毛作」と称していた。しかし，後述するように，稲作の作付制限によって野菜と麦，稲と野菜などの二毛作が登場したため，単に水田二毛作と言うと作目が不明確となった。更に，本論文では麦作のあとに稲作を行う場合の問題を扱っているため，全編を通して「稲麦二毛作」と呼ぶことにした。なお，この用語は1980年頃から農林水産省で一般的に用いている。

1）稲麦二毛作の変遷

日本における麦作は，弥生時代の前期，すなわち今から約2000年前に北九州とその近辺で始まったと考えられている。しかしながら，古代における麦作は収量が不安定なため，朝廷や支配者の命令に従って一部の地域で行われていたと言われる[10]。

この麦作は，平安時代から鎌倉時代にかけて畑地に普及し，鎌倉時代に至って水田二毛作麦を見るまで発展し，近世において全国的に普及したと言われている[10)11)12)]。

中世においては水田裏作としての麦栽培が助長されたが，その理由は，①平安時代には水稲の田植えが一般化し，作期の点で稲麦二毛作が可能となった，②水田裏作の麦に対しては年貢が徴収されない場合があった，③飢饉が多発して麦の価値が高まった，④仏教の普及に伴い僧侶が裏作麦を奨励した，⑤武士の支配者達は農産物によって武力が決定するので，公卿・貴族よりも農業に直

接的な関心を示した，からであると考えられている[10]。

稲麦二毛作が全国的に展開したのは明治中期以降である。例えば，エッゲルトによると，1886年の田地270万haの内で二毛作地は66万haあるとしており，約25%弱が二毛作地であったことが知られる[13]。

図1-1[14]に1878年以降の麦類の作付面積を，図1-2[14][15][16]に1935年以降の水田作，畑作別の麦類の作付面積を示す。

図1-1に示すように，1878年以降増加し続けた麦類の作付面積は1900年代に入って増加を止め，1920年代には一旦低下したが，第2次大戦中の1942年に最大となった。

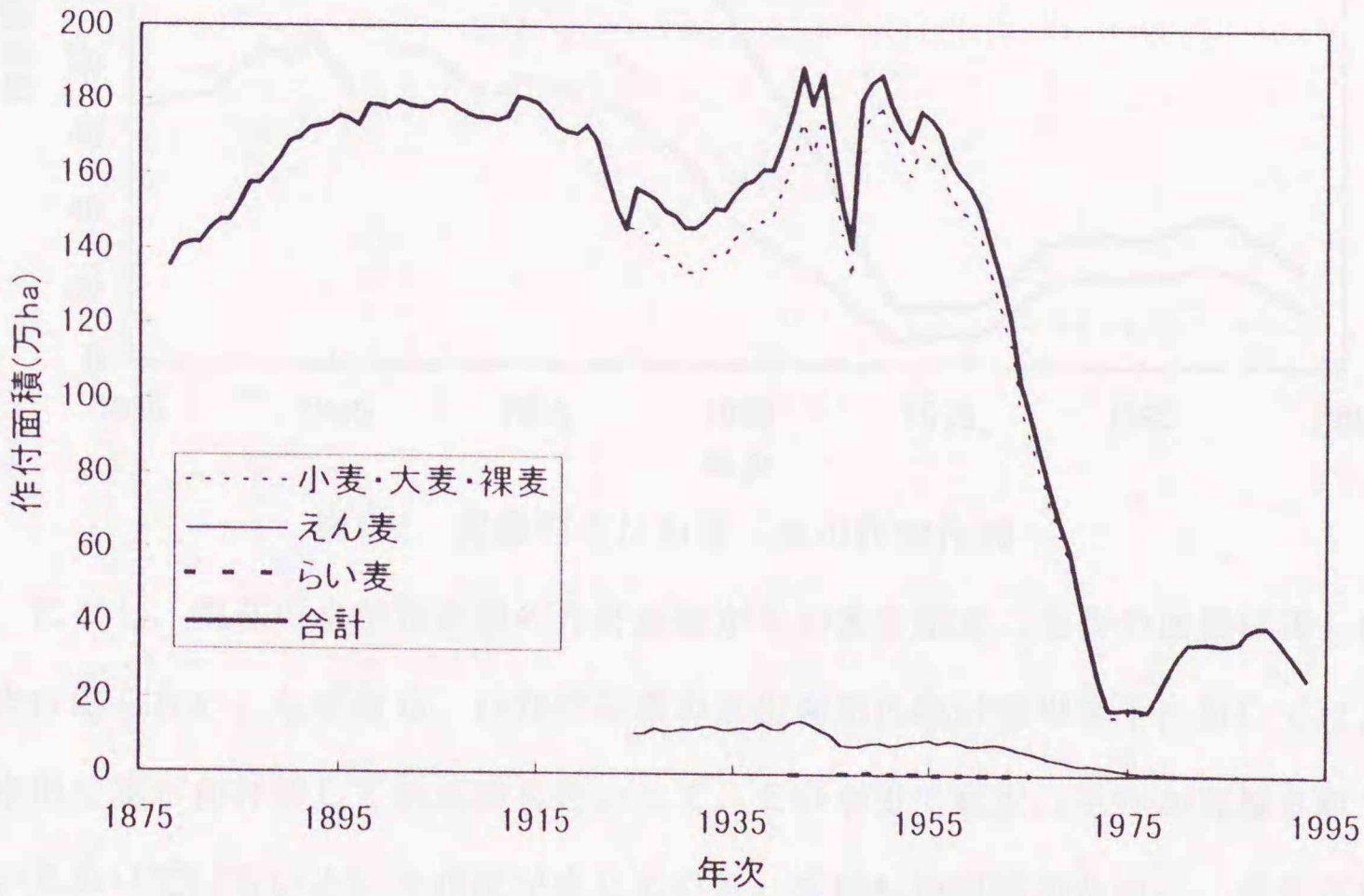


図1-1　麦類の作付面積（種類別）

水田裏作麦の作付面積は，図1-2に示すように戦後一時減少したものの，戦後の食糧不足の状況の下で食糧増産計画が進められたことを背景として，1949年には約83万haまで回復した。その後，1956年までは70万ha台を保っていたが，1954年のアメリカからの小麦50万トン，大麦10万トンの輸入に始まるＭＳＡ協

定に基づくアメリカ余剰農産物の輸入，工業の拡大と農村人口の減少，およびわが国の麦作政策の後退により，1973年には約10分の1の7万haに落ち込んだ。その後，1977年に麦生産振興奨励金が生産者麦価に織り込まれたこと，1978年からの水田利用再編対策事業により徐々に回復し，1990年には24万haとなっている[17]。

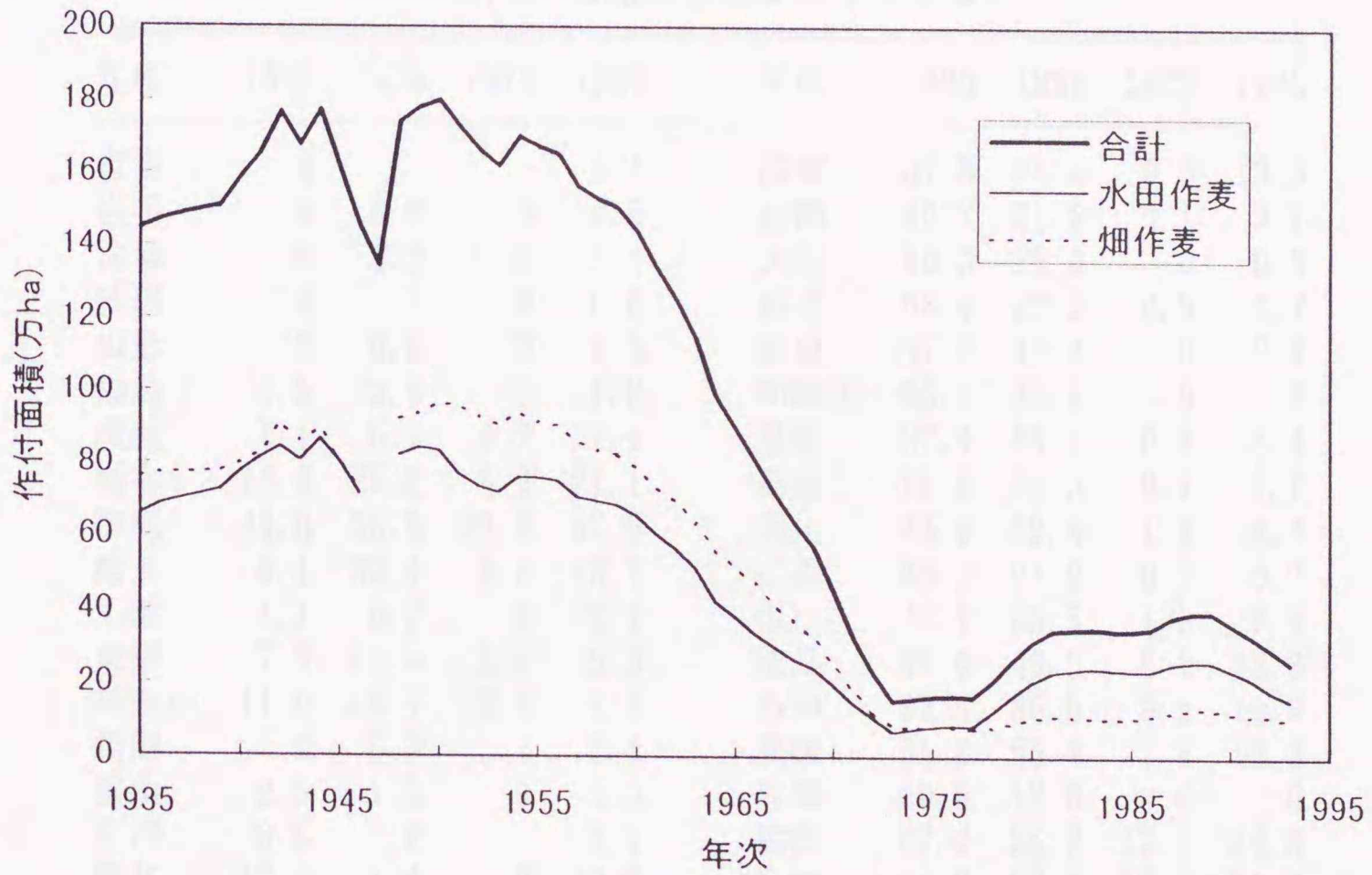


図1-2　麦類の作付面積（水田作畑作別）

ただし，現在の水田作麦類の作付面積がそのまま稲麦二毛作の面積に等しいとは限らない。なぜなら，1978年以来の水田利用再編対策事業下においては，水田に麦が作付けしてあるからといって，その水田で稲麦二毛作が実施されているわけではないという状況が生じている。水田転作対応のために，麦を作付けた水田では夏作に水稲を作らないからである。

2）稲麦二毛作の地域別動向と現状

都府県別の稲麦二毛作の状況を表1-1，図1-3および図1-4に示す。全国の二毛作の状況をやや正確に展望できる最初の統計値は図1-3に示す1895年で[13]，

全国平均は26.3%となっている。東北地方は皆無で，北陸地方もそれに近く，関東地方は群馬を除いてほとんど作付けされていない。東海地方では，山梨が過半数を示す他はほぼ全国平均の作付率である。近畿地方は高く，瀬戸内沿岸と北九州も総じて高いが，山陰，高知，南九州はやや低い。

表1-1　都府県別稲麦二毛作率(%)

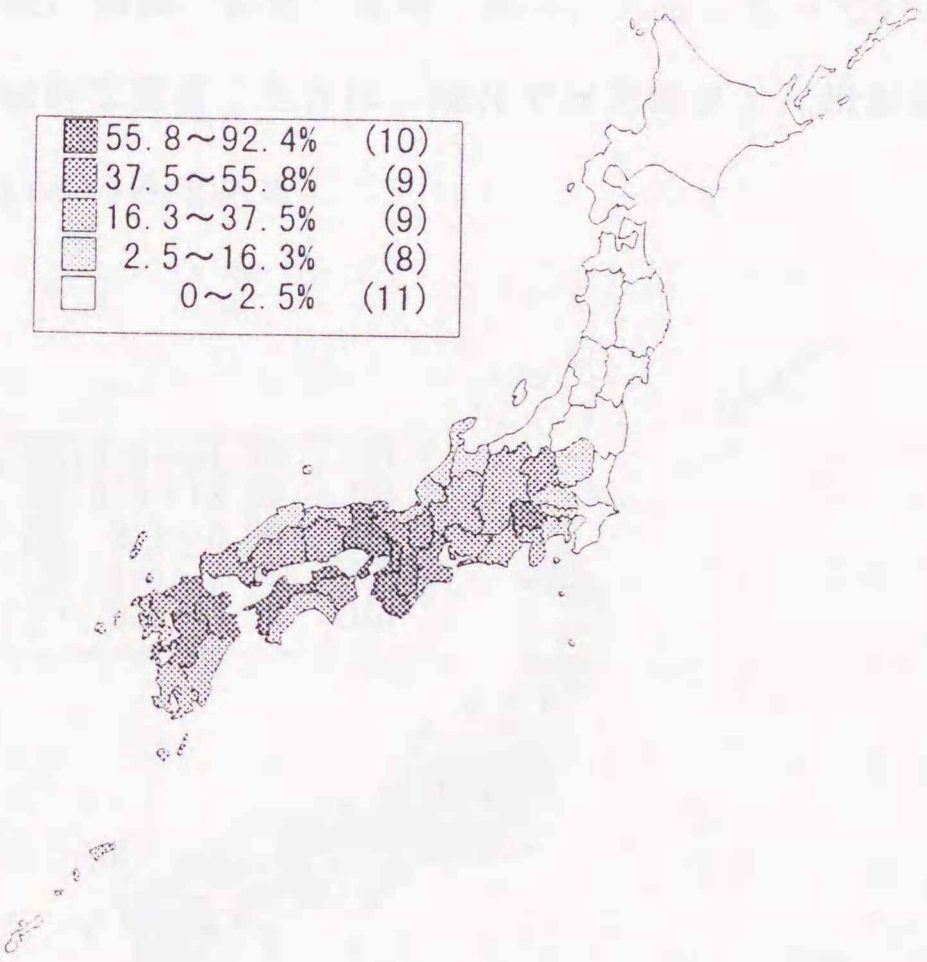
年度	1895	1958	1973	1990	年度	1895	1958	1973	1990
青森	0	-	-	5.1	滋賀	37.5	21.4	0.3	13.3
岩手	0	0.2	0	2.5	京都	40.7	31.2	0.1	2.7
宮城	0	0.3	0	2.4	大阪	60.3	28.0	0	0.3
秋田	0	-	0	0.8	兵庫	58.4	42.6	0.5	4.7
山形	0	0.2	0	1.6	奈良	57.2	42.4	0	0.7
福島	0.5	3.4	0	1.2	和歌山	63.1	36.1	0	0
茨城	1.1	6.1	0.2	7.1	鳥取	37.4	28.2	0.1	2.4
栃木	12.4	26.2	5.9	21.1	島根	11.6	10.3	0.1	1.1
群馬	49.9	66.5	22.6	42.9	岡山	44.6	39.4	1.8	8.4
埼玉	8.1	32.4	8.3	23.7	広島	43.7	21.9	0.2	0.7
千葉	1.1	0.7	0	0.8	山口	47.7	33.8	1.3	3.9
東京	7.9	11.4	0.4	0.9	徳島	42.6	40.5	8.1	13.8
神奈川	11.0	15.4	0.3	4.1	香川	92.4	80.5	9.5	19.8
新潟	0	0.3	-	2.4	愛媛	55.8	55.4	7.6	13.3
富山	2.5	1.3	0	6.0	高知	20.8	12.6	0	0
石川	3.5	1.2	-	3.9	福岡	67.9	56.8	12.1	29.6
福井	12.2	1.4	0	10.3	佐賀	47.0	52.4	13.7	51.7
山梨	59.2	54.8	5.9	2.4	長崎	35.4	32.3	4.0	11.8
長野	16.3	11.3	0.4	3.8	熊本	64.1	55.1	7.2	14.3
岐阜	33.3	28.7	0.2	5.9	大分	57.3	45.8	6.3	20.7
静岡	24.5	23.2	0.1	3.6	宮崎	20.6	28.1	4.3	1.4
愛知	23.2	29.7	0.2	8.3	鹿児島	21.0	23.4	0.8	2.3
三重	40.5	19.9	0.3	9.7					
平均						26.3	21.2	2.3	8.2

注）1973年以降は田作麦作付け率

このような地域別動向は，明治中期から昭和初期まで，戦後の一時期を除いてほぼ全国的に維持されていたと思われる。

水田裏作麦がまだ健在であった1958年に農林省作物統計課が実施した臨時畑作調査によると[18]，都府県全体では61.3%の主業農家（専業および1種兼業農

家）が82.4%の水田を耕作していた。この主業農家の水田総面積に対する冬期土地利用率は，延作付面積35.2%のうち麦（実とり）が21.2%であった。このうち，水田裏作麦（実とり）の作付面積率が30%をこえる都府県は，群馬，埼玉，山梨，京都，兵庫，奈良，和歌山，岡山，山口，徳島，香川，愛媛，福岡，佐賀，長崎，熊本，大分であった[19]。すなわち，当時は17の府県で水田の3分の1以上に裏作麦が作付けされていたのである。



図I-3　都道府県別二毛作率(1895)

水田裏作麦の作付面積が最も落ち込んだ1973年についてみると，都府県の田の利用率が93.3%に低下している。わが国の農業の一つの特徴であった「耕地の利用度を時間的にも空間的にも高めうる多毛作の発展」は見る影もなく落ちぶれた。

この年に田の利用率が100%を超えた都府県は，栃木，群馬，大阪，和歌山，徳島，香川，愛媛，福岡，佐賀，長崎，熊本，宮崎，鹿児島であり，田作麦（4麦合計）の作付面積率は，わずかに2.3%であった。田作麦が5%以上残って

いる県は，栃木，群馬，埼玉，山梨，徳島，香川，愛媛，福岡，佐賀，熊本，大分であった[20]。1958年と比較すると，全般的な麦作後退のなかにあっても，近畿，中国地域の府県の作付けは壊滅状態となり，関東，四国，九州では何とか存続していたといえる。

1990年になると，図1-4に示すように都府県の田作4麦の作付面積率は8.2%に回復した。それが10%をこえる県をあげると，栃木，群馬，埼玉，福井，滋賀，徳島，香川，愛媛，福岡，佐賀，長崎，熊本，大分となっている[41]。すなわち，わが国の伝統的な稲麦二毛作は，現在では北関東と九州および四国の一部で引き継がれているのみである。

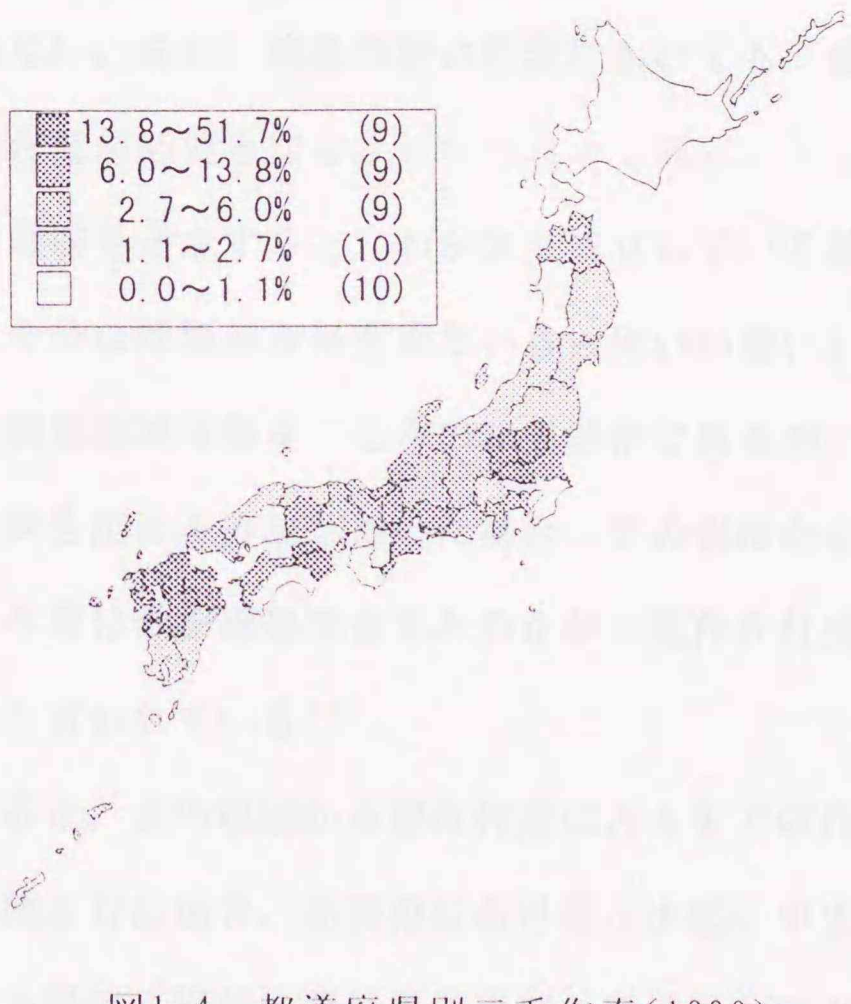


図1-4　都道府県別二毛作率(1990)

2　稲麦二毛作の特徴と問題点

1）気候的特徴

日本人にとってなじみの深い稲麦二毛作は，わが国以外では中国の揚子江下流の江蘇・浙江地方と中流の四川盆地などに限られており，世界中でもきわめ

て珍しく，日本を含めた照葉樹林農耕文化地域に特有な土地利用方式であるといわれている[22]。湿潤熱帯に適する水稲と，冷温帯に適する麦を同一年に同一耕地で栽培するのであるから，湿潤な熱帯性の夏と乾燥した亜寒帯性の冬をあわせ持ったわが国のような気象でなければ成立不可能である。

稲麦二毛作が成立する地域は，気温，日射量，降水量などの気象条件から推定できるが，これを作業面から見た場合，稲と麦の適期播種，適期収穫を行うための，作付切替え時期の作業期間が問題となる。

すなわち，稲麦二毛作では麦の収穫から水稲の移植までの期間および水稲の収穫から麦の播種までの期間が極めて短い。前者の春作業では，この作付切替えの期間内に，麦収穫，施肥，耕うん，代かき，田植え等の一連の作業を処理しなければならない。また，後者の秋の作業においても，稲収穫，施肥，耕うん，麦播種等の作業が必要となる。

これらの作業時間を考慮すると，わが国で成立している稲麦二毛作は，その作付切替え時に十分な時間的余裕を得ているとはいい難い。

たとえば，北関東地域は稲麦二毛作の北限地帯であるが，冬作物の生育限界温度から栽培北限を定める方法を用いた場合，麦の収穫から稲作作業に入るまでの作付切替え作業日数を確保できるか否かが二毛作作付体系の成立を決定付ける要素であると言われている[23]。

この研究によると，麦の収穫から稲作作業に入るまでの作付切替え時の作業可能日数を10日間とした場合，北関東における「水稲－中生小麦」体系の栽培可能地帯は，埼玉県の平坦部，茨城県の南部，群馬県と栃木県の平坦部のごく一部となる。また，作業可能日数を5日間とした場合には，茨城県では中北部まで広がるが，稲麦二毛作の盛んな群馬県，栃木県での広がりはかなり狭い範囲に留まる。このように，北関東における稲麦二毛作にはきびしい気候的限界があり，その限界を突破して規模拡大を図るには，品種改良や高度な作業技術

の導入が不可欠となる。

このことは，瀬戸内海沿岸の稲麦二毛作地帯においても当てはまる。たとえば，山陽平坦地帯は，標高100m以下，年平均気温15°C以上，1月の平均気温3°C以上，積雪はほとんどないという恵まれた気象条件下にあって，気象要因による災害が少なく容易に稲麦二毛作ができる地帯であるといわれている。

山陽平坦地における水稲の移植時期は，在来の成苗による田植えでは6月上旬から中旬が適期になっていた。しかし，二種兼業農家の増加と稚苗移植栽培による移植時期の早期化により，5月上旬のゴールデンウイークまで田植期が拡大して，現在の田植え作業のピークはこの時期にある[24]。

ところが，山陽平坦地における麦類の収穫時期は小麦の場合6月上旬であり，場合によっては6月中旬にずれ込む。すなわち，稲麦二毛作の適地といわれる山陽平坦部においても，麦収穫と水稲作付けの作業時期が逆転し，稲麦二毛作が困難になっている。

また，麦の収穫や耕うん等の作業の可否は天候に左右されるが，各地域における梅雨入りの平年値は，関東地方が6月9日，中国地方が6月7日，九州南部が6月1日である[21]。麦の成熟期が梅雨入りの時期と重なることは，とりもなおさず，作付切替え作業期間の作業可能日数を減少させ，二毛作を困難にする第2の条件となる。

2）技術的特徴と問題点

わが国における稲麦二毛作は，江戸時代までは農民達の飢餓防止のための手段として，また戦後は国を挙げての食糧増産の手段として発展してきた。したがって，気候的に作付可能な立地条件があるとはいえ，技術的に解決すべき多くの問題点があった。

稲麦二毛作の１作目（夏作）の稲は湛水状態で，２作目（冬作）の麦は乾田

状態で栽培する。したがって，稲と麦の二毛作を実現するためには，稲作のための水を安定的に供給する潅漑システムと，麦作時の乾田化を可能とする排水システムが基本的に必要である。このような技術は，その地域の立地条件や気象条件ならびに社会的条件を背景に個別の発達を遂げてきた。

たとえば関東地方では，水田の稲麦二毛作は桑園を加えた稲麦・養蚕複合経営として展開してきた。田作麦の作付けが現在も多い群馬県の場合，江戸時代の幕藩体制のもとでは，養蚕のための桑作は灌漑の不可能な畑地に限定され，本田畑は年貢や食糧の確保のため桑の植付けを許さず，主穀・雑穀の作付けを義務づけていた。しかし，明治維新を迎えた1872年には，太政官布告によって田畑利用の制限が撤廃され，養蚕経営の水田への展開が可能となり，これに蚕室を暖房する補温育の確立，ならびに飼養技術の改善によって養蚕業は著しく進展した[25)]。

大正から昭和初期にかけて水田裏作では小麦が増加し，簡易整地播きが普及して省力化が図られ，適期播きが可能となり反収は著しく向上した。水稲作では陸苗代が徐々に普及し，水稲の品種は晩生種が使用され収量が飛躍的に伸びた。すなわち，群馬県における稲麦二毛作は養蚕との複合営農方式として完成した[26)]。

一方，中国地域の山陽平坦部における稲麦二毛作は，明治以降の一連の技術革新とともに，多収水稲の生産と水田二毛作を追求する自・小作農民達によって岡山県南部を中心に展開してきた。例えば，正条植え，手押し除草機，反転犁牛耕，畜力砕土器，足踏み脱穀機等の普及である。このような技術開発は，内燃機関および電動機の登場と，それに続く揚水ポンプ，動力耕うん機，自動脱穀機等の開発により一層進展した。

この結果，水田耕起，麦作耕起，麦作中耕・除草が飛躍的に省力化され，本格的に稲麦二毛作体系が可能となった。この動力耕うん機普及の推進役となっ

たのは，岡山県興除村の自・小作農民であった[27)28)]。

興除村に代表された岡山県南部の稲麦二毛作は，全国的にみても，1950年前後の水田農業の最高水準を示していたといえる。この生産力の高さは農民の生活・文化の上にも反映された。

労働科学研究所は，単作地と二毛作地の農業労働と農民の生活を調査して「単作地の農民は二毛作地の農民に比べて約10年も早く農業労働から離脱する」，「単作地の農民の方が二毛作地の農民よりも生理的に年齢が高く，生理的に早老である」と結論づけた[29)]。この違いは，当時の水稲単作農業は過重な裸の労働に支えられており，他方，二毛作は労働過程を通じて労働が合理化されていることによるものであった。

しかしながら，水稲単作に比較してこのように合理化された稲麦二毛作も，海外からの安価な麦類の輸入と収入の多い工業への労働力流失の波には打ち勝てなかった。かって最良の稲麦二毛作地帯であった岡山県南部平坦地域は，1970年頃には水稲単作地帯へと後退した。

一方，この頃に始まった田植機およびコンバインの実用化と普及によって，それまでの水稲作は省力体系へと劇的な変貌を遂げたが，麦作においてもトラクタや火力乾燥機の普及により一段と省力化が図られた。すなわち，トラクタとそのアタッチメント（ロータリ・シーダ）による耕うん・播種，除草剤の使用による除草管理作業の省略，コンバインによる収穫と火力乾燥機による乾燥の作業体系である[17)]。

これら一連の個別機械の開発と作業体系の改善が図られる中で，深刻化する農村地域の労働力不足を背景に浮上したのが藁処理の問題である。すなわち，バインダと動力脱穀機による収穫体系では，収穫物の乾燥・脱穀のため，藁は必然的に集められて処理されたが，コンバインを用いた収穫作業では，たとえ藁を結束して圃場に放出したとしても，それを集める労力が膨大であり，藁の

収集を行う機械の開発も行われたが[30)31)]，藁の用途が減少するにつれて，藁を回収する必要すらなくなった。

このような経過を経て今日定着した作業様式は，コンバインによって収穫・脱穀された稲・麦の藁を細かく切断して圃場に散布するものであり，これを焼却するか，または生藁のまま圃場にすき込むのが一般的となった。

3　コンバインの普及と藁処理装置の変遷

1）コンバインの開発と普及

図1-5に水稲の収穫様式の変化を示す[32)33)]。稲麦を刈り取って結束するバインダの開発は1940年代の後半に始まり，20年の試作研究期間を経て1960年代の後半に実用機として完成し，本格的な市販が開始された。すでに1930年代から動力脱穀機が広く普及していたため，バインダと動力脱穀機による収穫体系は従来からの作業法に合致して早々と普及した。

この体系では，バインダで収穫された水稲は数カ所に集められ，天日乾燥してから脱穀されるため，稲藁は乾燥過程で圃場外に搬出されるか，あるいは圃場内にあっても搬出や焼却は比較的簡単であった。

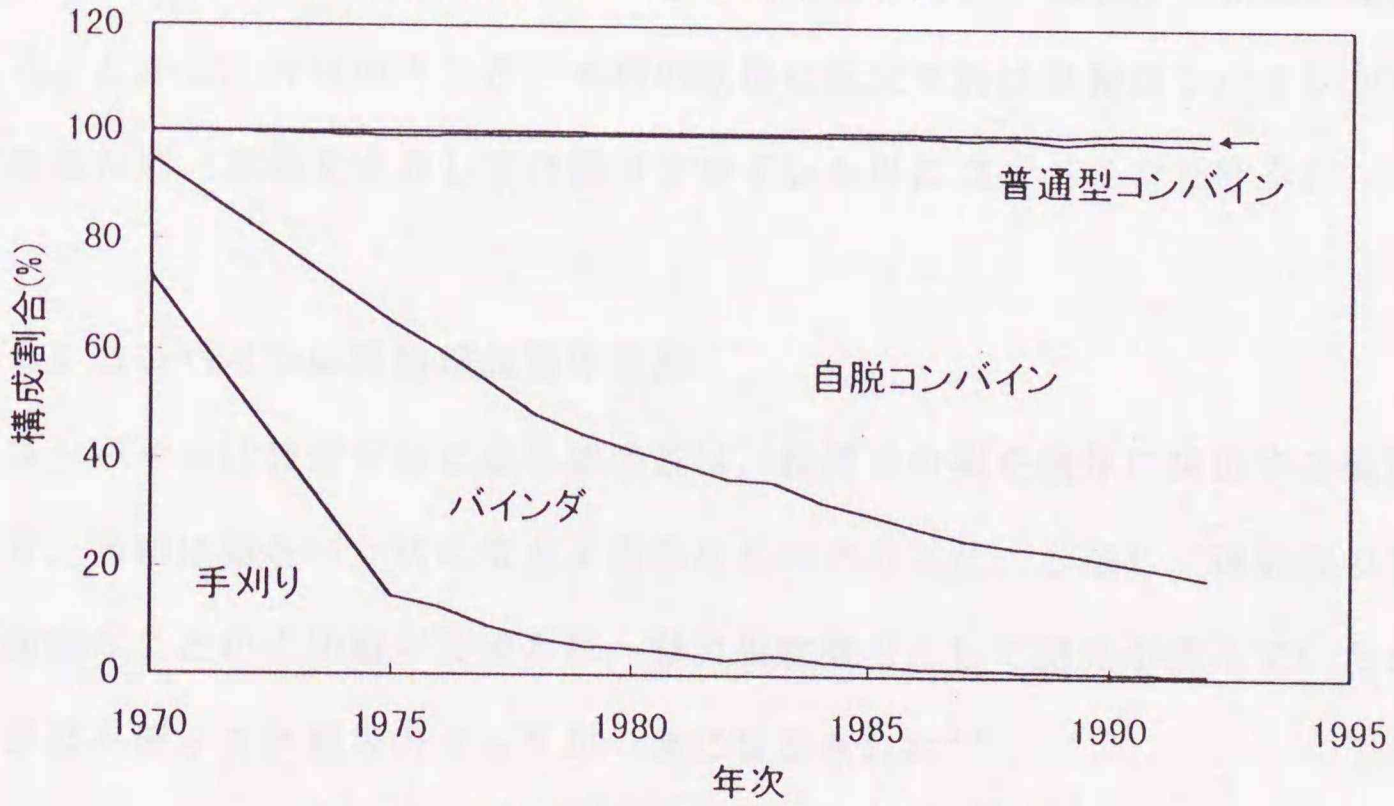


図1-5　水稲の収穫様式別の収穫面積割合

一方，刈り取りから脱穀調製まで行うコンバインは，1920年代から欧米の普通型コンバイン，牽引式コンバインが輸入され，特定の大規模畑作農場で麦類の収穫に使われていた。1963年に至ると，農業基本法の下で水稲の「普通型コンバイン」収穫が試みられ，国は全都道府県に1台づつの普通型コンバインを導入した。しかし，この作業は生脱穀のため，高性能な乾燥施設を要すること，稲の難脱粒性により損失が多いこと，畑用のゴムタイヤのため水田での走行性が悪いこと，そのため負担面積が少なくて採算性が悪いこと，などの理由で普及に至らなかった[34]。

これらを参考に日本型のコンバインの試作研究が続けられ，1960年代後半に至ってバインダと自動脱穀機を一体化した「自脱コンバイン」が実用化され，1968年頃市販が開始された[35]。その後，図1-5に示すように自脱コンバインは急激に普及した。すなわち，圃場で刈取りから脱穀まで行う省力的な作業技術は自脱コンバインで達成された。

なお，自脱コンバインは6条刈り程度が限界で作業能率の大幅な向上が困難なため，1990年代になって軸流型普通コンバインが開発され[36][37]，日本では汎用コンバインの名称で普及が始まり，作業能率向上の観点から発展が見込まれる。しかし，今日のところ，水稲の収穫に限定すれば自脱コンバインが主流であるため，本論文を通して自脱コンバインを単にコンバインと呼ぶ。

2）コンバインの藁処理装置の変遷

コンバインに装着された藁処理装置は，脱穀後の藁を機外に排出する装置であり，当初は藁をバラ状に落とす簡単なものであった。しかし，後処理の手間が面倒なことから切断が要望され，動力脱穀機用として開発が進んでいたシリンダ型，ディスク型等のカッタが一部に装着された[38]。

1970年代の前半には，所要動力の関係から小型コンバインにはディスク型，

大型機にはシリンダ型のカッタが採用された。また，藁を回収する農政側の強い要望から藁をまとめて落とすドロッパ装置が開発された。

1970年代の後半に入るとコンバインは高能力化し，処理能力の関係から小型コンバインはシリンダ型，大型コンバインはディスク型のカッタに限定されてきた。また，コンバインの普及と藁の切断・散布が増加するにともない，藁加工品のための藁の供給量が不足して来たため，藁の結束機が開発されたが，利用は極めて少ない。

1980年代に入ると，工業・自動化技術の進歩により，コンバイン本機ではエンジンのパワーアップによる高能力化，操作性・保守管理の容易化へと進んだが，藁処理装置も，ドロッパ，結束機，細断等の切り替えが可能になるとともに，結束藁の立体放出や切断藁の袋詰めが可能な機種が市販されるようになった[39)]。

すなわち，コンバインの藁処理装置は，工業技術の支援を受けつつ，現場の声を反映しながら変遷してきたといえる。

しかし，多様な藁処理装置が開発されて種々の作業法が可能になりながら，労働力不足は最も省力の手法を選択させた。すなわち，コンバイン収穫された稲・麦藁は細断・散布され，焼却するかあるいはそのまま圃場にすき込むのが一般的となった。しかし，藁を焼却することは水田地力の維持増強の面から問題があるとともに，焼却時に発生する煙は近隣住民への公害となり，交通渋滞を引き起こす社会問題となった。

また，生藁のまま圃場にすき込まれた藁，特に麦藁は，代かき後に水面上に浮遊して水稲移植時の障害となる上に，異常な土壌還元作用を起こして，窒素飢餓，ガス発生による水稲の初期生育障害などの問題を引き起こしている。

岡山県南部の水田地帯における，代かき後に水面上に浮遊している麦藁の状況を図1-6に，圃場外にすくい上げられた麦藁を図1-7に示す。



図1-6　代かき後に水面上に浮遊している麦藁



図1-7　圃場外にすくい上げられた麦藁

4　藁処理をめぐる研究の概要

1）研究の概要

前項で述べた藁処理に伴う問題は，コンバインの普及がもたらした未経験な研究課題であり，1960年代から80年代にかけて国および県の農業試験場を全国的に巻き込んで論議され，数多くの試験研究が展開された。

たとえば，農林省の特別研究として1967年から4年間実施された「コンバイン収穫に伴う藁稈類処理法とその後作および地力に及ぼす影響に関する研究」では，北海道，関東，九州の畑作を対象に藁稈類の処理方法が検討された[40]。

また，稲，麦藁の施用法に関する共同研究が，中国地域6県と中国農試の協力を得て実施され，1970年に取りまとめられた[41]。

農林水産省の別枠研究「稲・麦を主体とする合理的作付体系の確立に関する研究」は1976年から5年間にわたり実施されたが[42]，この研究の一環として，「藁稈類による生産阻害回避技術」の開発研究が取り上げられ，東北，農事，中国，四国の各農業試験場において作業技術面から藁稈類の処理方法が検討された。

さらに最近では，1984年から4年間にわたり，「地域低コスト稲作技術体系確立試験研究」と題した研究が国の7つの地域農試と32道県の公立農試の共同で実施され，その中で藁処理に関する試験研究が数多く実施された[43]。

これらの組織立った研究以外に，国および府県で個別に実施された「藁処理」に関する研究は膨大な数に上る。これらの研究が実施された国および府県の農業試験場を地域別にみると，北海道と北陸を除く，稲麦二毛作が可能なほぼ全ての地域の農業試験場で実施されている。

すなわち，高度に技術化・機械化された稲麦二毛作体系において，藁処理の問題は，作業体系の改変をも起こしかねない重大問題となり，全国的に残された最重要の研究課題であるといって過言でなかった。

これらの研究を，稲麦二毛作（移植水稲－麦）体系における麦藁処理の問題に限って見た場合，その研究領域は主に，栽培・土壌肥料と機械・作業技術分野の2つに分類できる。

2）栽培・土壌肥料分野の研究

藁処理の問題は，栽培学・土壌肥料学的には，藁をすき込んだ場合の水田土壌の理化学性の変化，水稲・麦類に対する増収（減収）効果の解明の問題としてとらえられた。したがって，これらの試験では，水稲の初期生育障害の回避を主な目的として，肥料や土壌改良資材の種類と投入量の選定，藁のすき込み量および適正な水管理法の検討などが行われた。

栃木らは，麦藁すき込みにより土壌の酸化還元電位が低下して水稲の根の活力の低下が認められたが，窒素の早期追肥や石灰質資材の施用により初期生育が安定し，両者の併用が効果的であったと結論している[44]。

また，川田らは，藁すき込みと水管理に関する試験の結果，水稲の収量は，常時湛水＞間断灌水＞中干しの順となり，藁すき込み区では増肥により効果が認められたと報告している[45]。

金は，冬期休閑，稲麦藁搬出，麦藁搬出，稲麦藁すき込みの4区を設けて試験を行った。麦藁すき込み田は水稲の活着および初期生育の阻害が見られ，それが初年目に特に著しかった。しかし，水稲の生育は秋勝り的となり，稲麦藁すき込み区は冬期休閑区より6%増収したと報告している[46]。

脇本らは，麦藁すき込みに伴う水稲の生育障害の回避技術として，窒素およびりん酸の施用による検討を行った結果，基肥窒素の増肥で水稲の初期生育障害は一応回避でき，りん酸の基肥多量施用では特に麦藁すき込み初年目に顕著な増収となったと報告している[47]。

これらの研究の結果，窒素・りん酸・ケイカルなどの増施によって水稲初期

生育障害の回避が可能で増収効果があること，水稲の生育障害は藁施用数年目でなくなり，以降は生育・収量ともに優ることが明らかにされた[47)48)49)]。

また，藁施用により土壌の物理性・理化学性が改善され土壌肥沃度が高まることが解明され[50)51)52)]，稲・麦藁の連続施用は特に暖地水田地力の維持・増進に重要であるという結論が出された[53)54)55)56)]。

3）機械・作業技術分野の研究

機械・作業技術分野からは，代かき後の藁の浮遊防止，田植機の植付け精度の向上を目的として，耕うん・代かき時の藁の埋没方法に関する試験研究が，藁の切断長，耕うん方法と耕深，代かき回数と水深等を主な要因として実施された[57)58)59)]。

たとえば，青木らは藁の切断長と代かき方法について検討し，3cmの短切断では代かき時に浮遊しやすく30～50cmの長切断では表層に集積しやすいこと，したがって10～20cmの切断長が適当であり，代かき時の水深は2～3cmの浅水が良いと報告している[60)]。

また，金子らによる藁の切断長と耕深の試験では，切断長が長すぎると耕うん抵抗が大きく短いと浮遊するため8cmが適当であり，耕深は12～15cmが良いと結論している[61)]。

麦藁をさまざまな長さや形状に処理し，水面上に放置して藁の沈下率を調査した試験も実施された。

麦藁の切断長および圧砕処理方法と藁の沈下率との関係については農事試験場[62)]で，圧扁・水中・水面・土壌処理などの前処理方法と藁の沈下率との関係については九州農試[63)]で，切断長・麦藁の部位・圧砕処理方法と藁の沈下率との関係については坂本ら[64)]により検討され，切断長の短い方が，また，圧扁処理や圧砕処理を行った方が藁の沈下が早いことが報告されている。

藁のすき込みを目的とした機械も試作され[62)65)]，川崎らは麦藁すき込み用ディスク型代かき機の開発を行ったが，深水条件では十分な性能を発揮しなかったと報告している[66)67)]。

また，九州農試による，ロータリの均平板の代わりに櫛状のスクリーンを取り付けて藁のすき込みを図った試験では，藁のすき込み性能向上に対してほとんど効果が見られなかったと結論している[68)]。

このような研究の結果，代かき後の麦藁の浮遊を減少させるためには，深さ12～15cmの深耕と水深1～2cmの浅水代かきが良く，麦藁の切断長は10～15cmの比較的長めが良いことが明らかとなった[48)57)59)60)65)66)]。

これらの成果を実施することは困難なことではなかったが，生産現場の技術的動向はこれとは逆の方向性を持っていた。すなわち，稚苗移植の拡大により田植機の走行安定性が重要視されるとともに，耕うん作業能率の向上を目的として，水稲作付時のロータリ耕は浅耕化していた。また，基盤整備による大区画圃場の増加と機械の大型化により圃場の均平度が悪化し，浅水代かきの実施は困難となり，浮遊藁を減らす研究成果は農家の技術的動向と合致しなくなった。

5　本研究の目的

本研究は，主に農林水産省中国農業試験場において，1985から1990年の6年間にわたり，麦藁の沈下促進技術を開発する目的で行った。

研究の最初の段階では，稲麦二毛作体系での不耕起直播水稲を対象とした麦藁処理技術を開発することに主眼をおいた。すなわち，従来のように耕うん，代かき作業での麦藁の埋没を目的とするのではなく，麦藁そのものの沈下特性を解明し，麦藁を水に沈みやすい形状に成形する技術を開発する方向で研究を開始した。その後，麦藁を水中に沈下させるためには麦藁を縦切断すればよい

ことが明らかになり，本研究の目的は，稲麦二毛作体系における麦跡水稲の移植作業の安定化，すなわち，代かき後の浮遊藁を減少させるという現状の問題の解決のための技術開発へと発展した。

代かき後の浮遊藁を減少させる具体的な方法は麦藁を縦切断することであり，本研究は，麦藁縦切断装置の開発とその実用化研究，すなわち，コンバイン装着型の麦藁縦切断装置の開発へと進んだ。

本論文は，これら研究過程から開発した麦藁縦切断装置の開発研究を軸とし，その原因となる麦藁の浮遊と沈下の研究を取りまとめたものである。本論文は5章からなり，次の内容を述べている。

第Ⅰ章では本研究の背景と目的，つまり稲麦二毛作と藁処理をめぐる諸問題について述べる。

第Ⅱ章では，麦藁の浮遊と沈下について様々な試験を実施した結果について述べる。

第Ⅲ章では，麦わらの浮遊と沈下を理論的に解析する。

第Ⅳ章では，麦藁の縦切断の原理について述べ，麦藁縦切断装置の基本性能を検討する。

第Ⅴ章では，様々な形状のコンバイン装着型麦藁縦切断装置の性能を比較検討し，実用に耐え得る構造を明らかにする。

なお，本研究のように麦藁の沈下を促進する目的で実施したコンバインの排藁カッタの改良・改善に関する研究は他に例がなく，極めてユニークで普遍性に富む研究であると自負している。

第Ⅱ章　麦藁の浮遊と沈下

1　本章の目的

水面上に放置した麦藁は，放置した直後は水面上に浮遊しているが，日数が経過するにつれて水中に沈下し，最後には全ての藁が水中に沈下する。

ここで，処理した麦藁の本数に対して水中に沈下した麦藁の本数割合を，類似の研究の多く[29)42)63)]と同様に「沈下率」と定義する。また，本章以降の圃場試験では，水面上に浮遊する麦藁の質量を調査して浮遊割合を算出しているので，処理した麦藁の風乾後の質量に対して水面上に浮遊する麦藁の風乾後の質量割合を「浮遊率」と定義する。

また，コンバインの排藁カッタは一般に麦藁を5～15cm程度に短く切断するので，本研究が対象とする麦藁も短く切断された麦藁とする。

麦藁の沈下率は日数が経過するにつれて高くなるが，麦の品種，栽培方法，麦藁の部位，麦藁の長さ，麦藁の処理方法などによって異なると考えられる。また，水温や水質など環境の影響を受けると予想される。

そこで，本章では，麦藁の切断長およびさまざまな処理方法と麦藁の沈下率の関係を検討するとともに，本試験の結果から得られた節無し藁と節有り藁の沈下率の差を重視し，麦藁の節の有無に着目して，麦藁の品種，部位ならびに処理方法が麦藁の沈下率に及ぼす影響について調査した。また，耕うん・代かき後に浮かび上がる麦藁の節の有無についても調査した。

2　麦藁の物質的特性

麦藁は，図2-1に示すように麦の稈，葉身，葉鞘の総称であり，稈は節と節

間からなる。

節は，図2-2に示すように葉鞘の肥厚部と隔膜から成るが，節の隆起は葉鞘の肥厚によるもので，葉鞘を取り除けばむしろ細くなっている[69]。

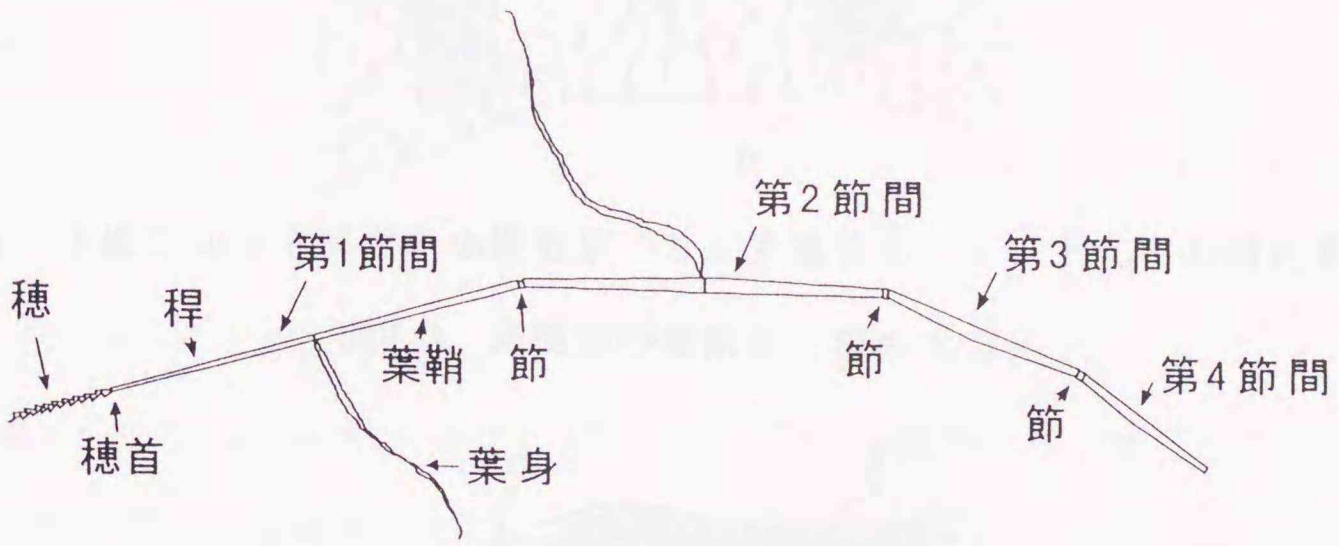


図2-1　麦藁

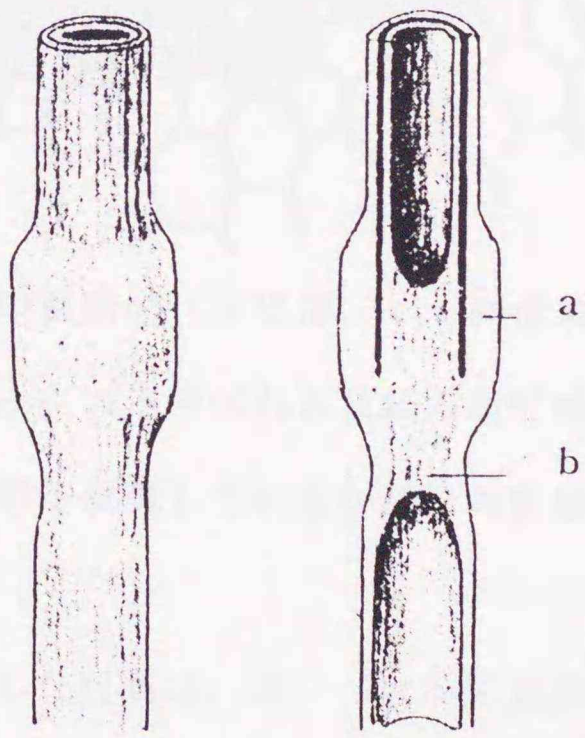
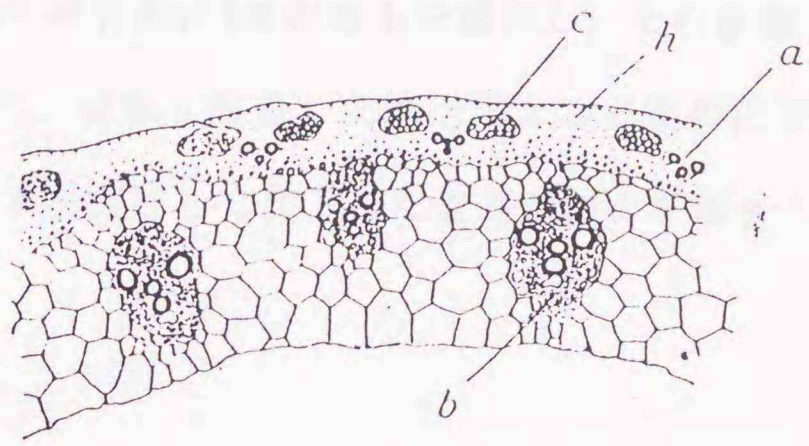


図2-2　節およびその断面図（a：葉鞘の肥厚部　b：隔膜）

節間は，図2-3に示すように，主として表皮，下皮，葉緑体を有する柔組織（同化柔組織），葉緑体を含まない白色の柔組織（基本組織）および維管束等の組織から構成され，稈の上位部ほど長くなっている。

下皮は，図2-4に示すように厚膜化した小細胞からなっていて，硬膜組織ともいわれる。厚膜化した細胞壁の成分は他の柔組織と同じセルローズが主であ

るが，生育が進むとリグニンが沈着し強固になる[18]。



h：下皮　a：下皮中の小維管束　b：大維管束　c：下皮中の同化柔組織

図2-3　節間部の横断面（稈の上方）

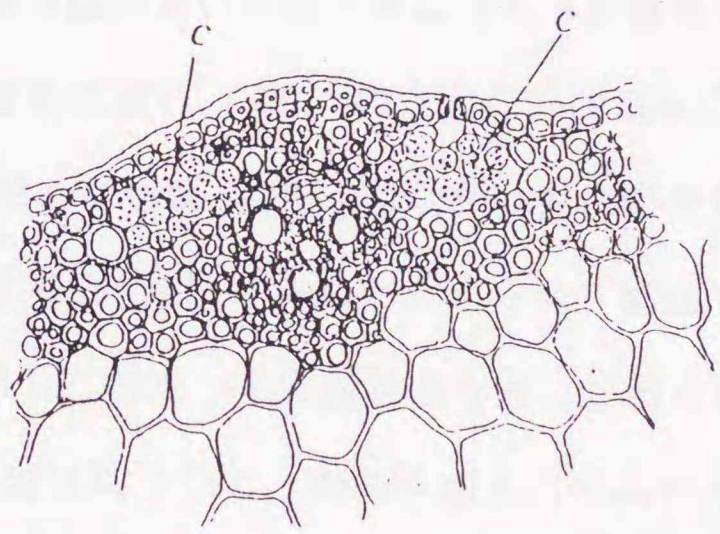


図2-4　節間部の横断図（下皮部，c：同化柔組織）

稈の表皮は一般にワックスと呼ばれる長鎖の脂肪酸とエステルと飽和炭化水素の混合物が存在して稈を保護しているが，その有無や厚さは品種によって大きく異なる。

なお，本研究で供試した材料は，コンバインで処理する関係から，すべて成熟期に達して葉身が消失した状態である。したがって，一般に麦稈の用語が多く用いられるが，稈と葉鞘を合わせた材料ということを明らかにする意味で麦藁と呼ぶ。

3　麦藁の沈下特性に関する室内試験

麦藁の沈下率を調査するため，品種，切断長，水温などを要因として4通り

の試験を実施した。麦藁の沈下率の調査方法として，容量6.6リットル（縦30cm×横22cm×高さ10cm）の容器に8割程度水を満たし，その水面上に処理した麦藁20～25本を放置した。麦藁に付着した気泡による麦藁の浮き上がりを抑えるため，24時間おきに水を撹拌して沈下した麦藁の割合を調査した。反復数は3～5反復とした。

1）試験2-1：麦藁の長さと切断方法の影響

（1）試験方法

麦藁の長さと切断方法の違いが沈下率に与える影響を検討するため，アサカゼコムギの風乾麦藁を供試し，表2-1のように，①2cmに切断，②5cmに切断，③10cmに切断，④20cmに切断，⑤5cmに切断し更に縦半分に切断，⑥20cmに切断し更に縦半分に切断の6区に処理した。さらに，圃場で収穫後に切断散布された麦藁が雨に濡れ日に当たって乾湿を繰り返した場合の麦藁の質的な変化を想定し，これら6処理区について，Ⓐ無処理と，ビニールハウス内にⒷ15日およびⒸ30日間放置して2日に一度潅水する3処理を組み合わせ，合計18処理区について沈下率を調査した。

表2-1　試験2-1の実験配置

縦切断の有無	切断長（cm）	処理区番号
無し	2	1
	5	2
	10	3
	20	4
有り	5	5
	20	6

灌水処理の有無と日数	処理区番号
無し	A1～A6
有り・15日	B1～B6
有り・30日	C1～C6

（2）試験結果

図2-5に18処理区の麦藁の沈下率を示す。図に示すように，縦切断した麦藁は切断長に関係なく4日目で90%以上が沈下した。その他の処理区の麦藁は切断

長が短いほど速く沈下し，Ⓑ，Ⓒの灌水処理の影響は切断長に比べ極めて小さかった。10日目の切断長別沈下率は，Ⓐ～Ⓒを範囲として①切断長2cmの麦藁が約95%，②切断長5cmの麦藁が70～80%，③切断長10cmの麦藁が40～50%，④切断長20cmの麦藁が0～10%であった。

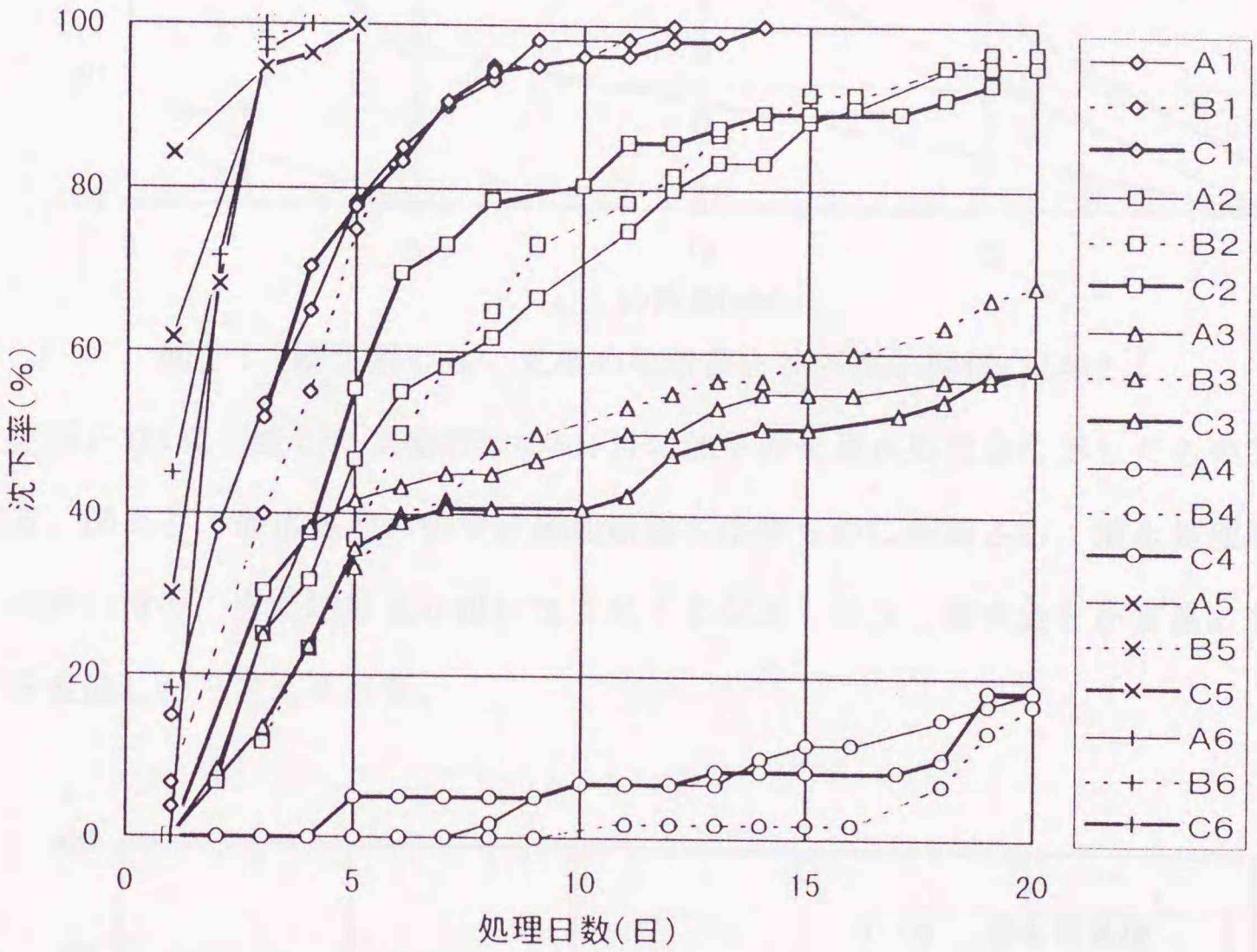


図2-5　麦藁の切断長・縦切断・灌水処理の有無と沈下率の関係（試験2-1）

図2-6は，①～④の縦切断しない麦藁の切断長と処理日数毎の沈下率の関係を示すが，処理日数が14日目には切断長と沈下率がほぼ直線関係になった。切断長が長くなれば節を持つ麦藁の割合が増加するとともに，麦藁の内部へ水が進入しにくくなるため，沈下率が低くなると考えられた。

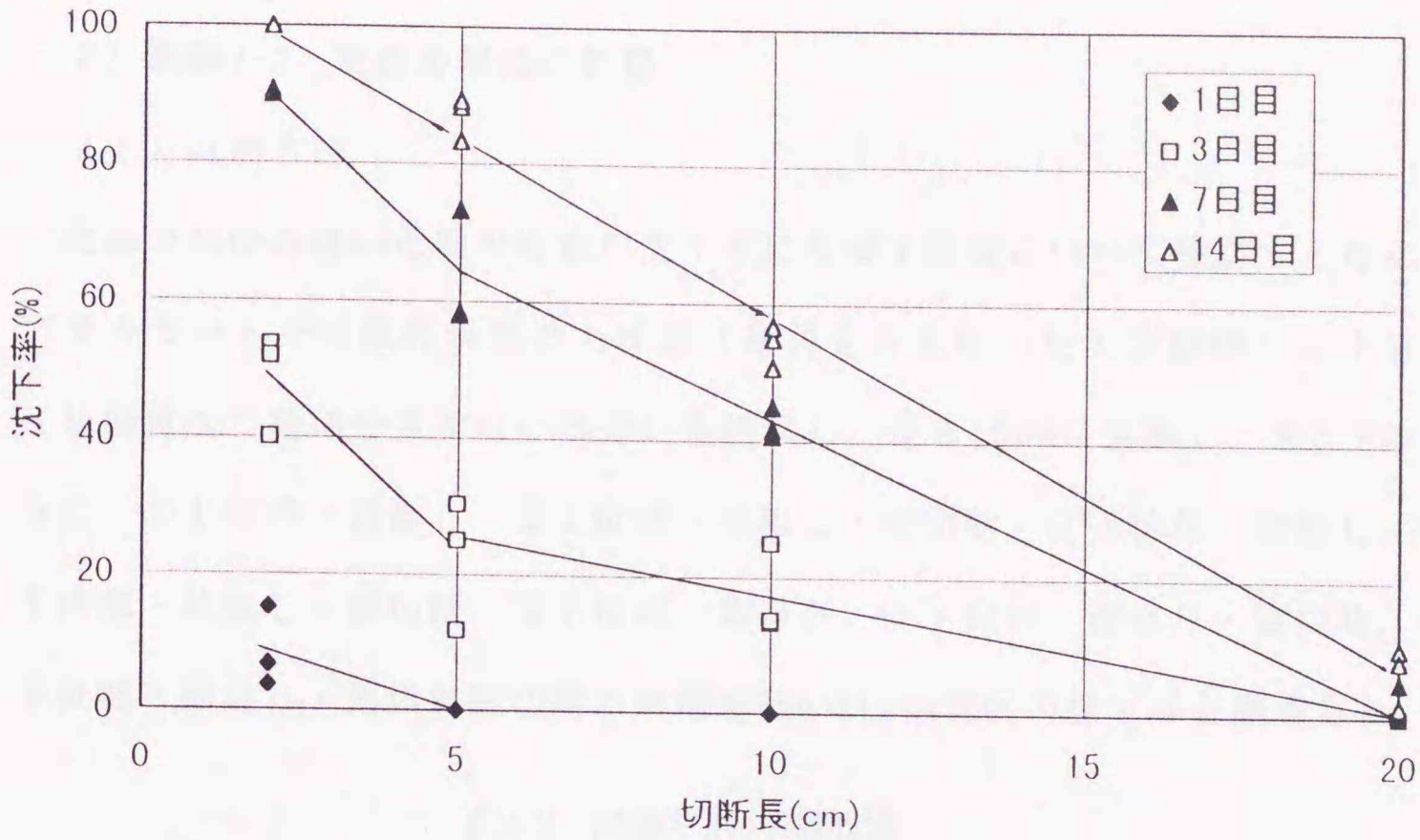


図2-6　縦切断しない麦藁の切断長と沈下率の関係(試験2-1)

図2-7は縦切断した麦藁⑤⑥の1日目の沈下率を灌水処理別に示したものである。図より，灌水処理の効果は縦切断藁では明らかに確認され，灌水処理期間が長いほど，また切断長が短いほど沈下率が高くなり，灌水処理が麦藁の沈下を促進したと考えられる。

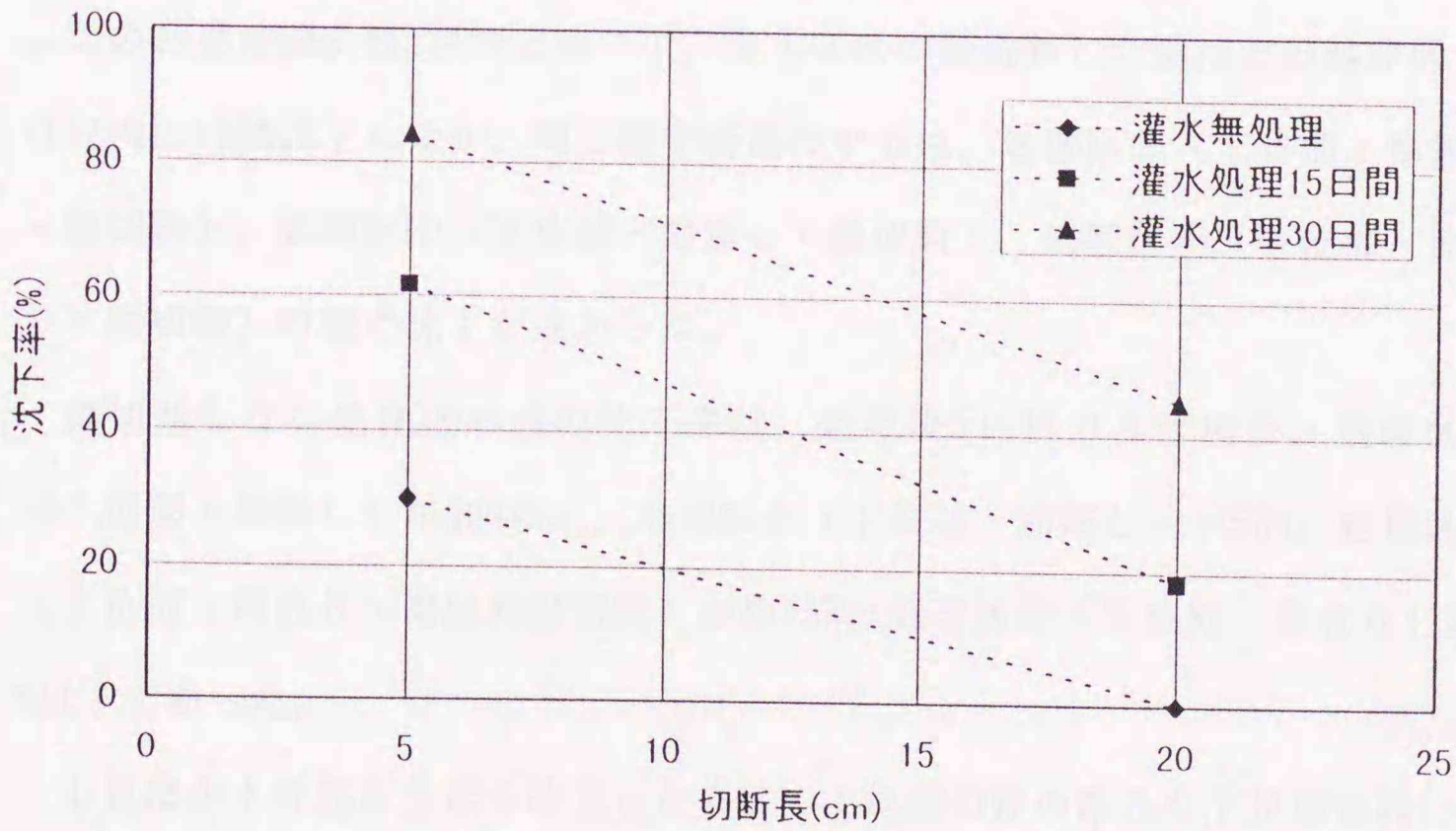


図2-7　縦切断した藁の切断長と1日目の沈下率の関係(試験2-1)

2）試験2-2：麦藁の部位の影響

（1）試験方法

麦藁の部位の違いと節の有無が沈下率に及ぼす影響について検討するため，アサカゼコムギの風乾麦藁の上位部（穂首を含まない最上位節間）と下位部（基部付近で基部を含まない部分）を供試し，長さ10cmに切断し，表2-2のように，①上位部・節無し，②上位部・節無し・縦切断，③下位部・節無し，④下位部・節無し・縦切断，⑤下位部・節有り，⑥下位部・節有り・縦切断，⑦下位部・節有り・節以外縦切断の処理を行い計7処理区の沈下率を調査した。

表2-2　試験2-2の実験配置

藁の部位	節の有無	縦切断の有無	処理区番号
上位部	無し	無し	1
		有り	2
下位部	無し	無し	3
		有り	4
	有り	無し	5
		有り	6
		節以外縦切断	7

（2）試験結果

この結果は図2-8に示すとおりで，②④⑥区の縦切断した藁はどの処理区も3日以内に100%沈下したが，同じ縦切断藁の中では，処理区②（上位部・節無し・縦切断），処理区④（下位部・節無し・縦切断），処理区⑥（下位部・節有り・縦切断）の順で沈下が速かった。

縦切断しない処理区の藁の沈下率は，処理後5日目でみた場合，処理区①（上位部・節無し）が90%以上，処理区③（下位部・節無し）が50%，処理区⑦（下位部・節有り・節以外縦切断）が約15%，処理区⑤（下位部・節有り）が5%以下であった。

上位部が下位部より速く沈下したのは，上位部の稈の厚みが下位部の稈に比べて薄いこと，葉緑体を有して柔軟な同化柔組織が下位部より上位部の節間に

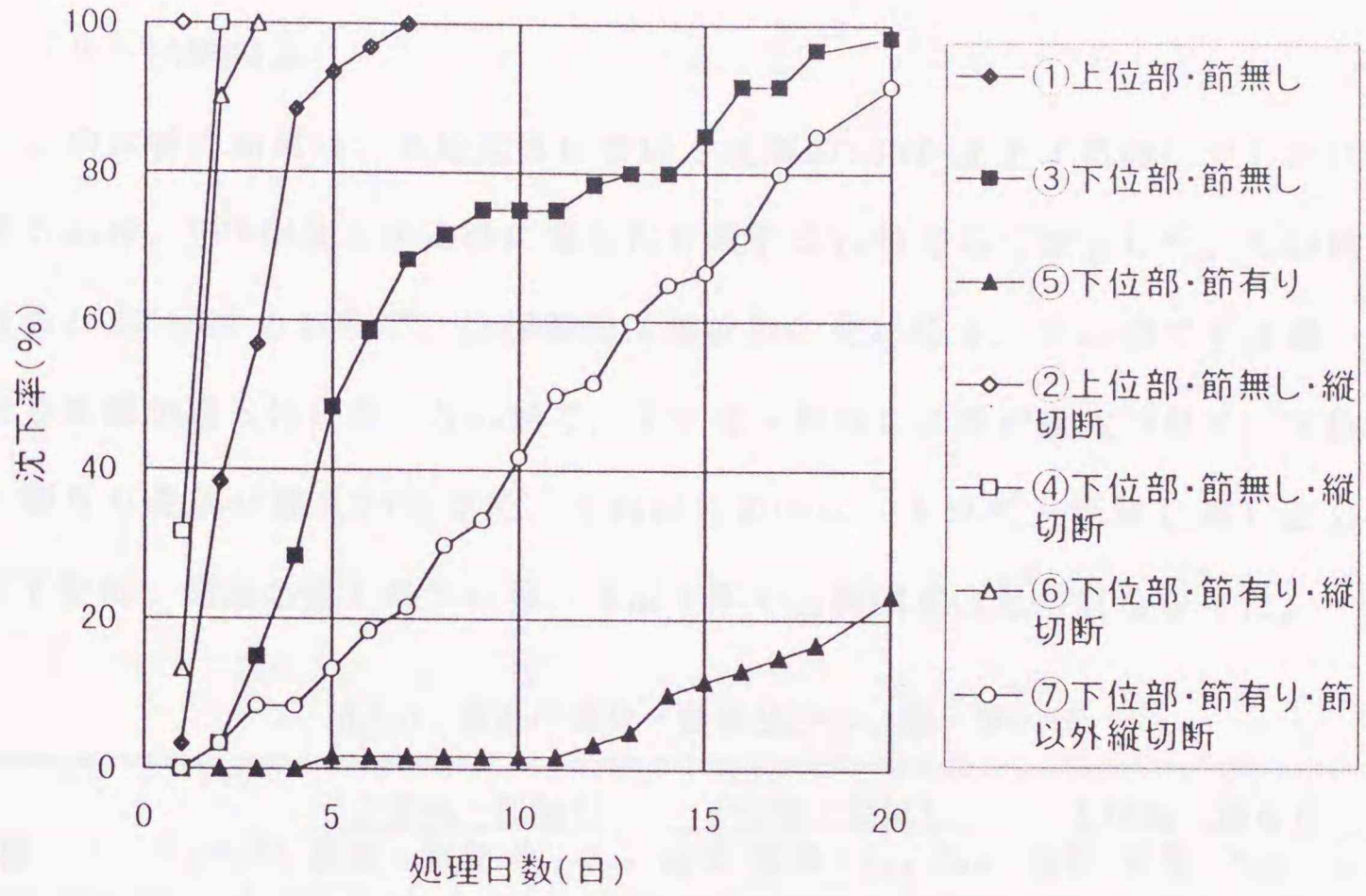


図2-8　麦藁の部位・節の有無と沈下率の関係(試験2-2)

多いことなどにより，吸水の速いことが理由として考えられた。

また，処理区⑥（下位部・節有り・縦切断）が3日目で100%沈下したのに対し，処理区⑦（下位部・節有り・節以外縦切断）は10日経っても沈下率40%程度であり，節部分の縦切断は沈下促進にとって重要であることがわかった。

3）試験2-3：品種と部位の影響

（1）試験方法

品種と部位の違いが沈下率におよぼす影響を調査するため，主に近畿中国地域で栽培されている小麦および稈のワックスが特に多いかまたは少ない外国麦品種あわせて18品種の風乾麦藁の上位部と下位部を供試し，長さ10cmに切断し，①上位部・節無し，②下位部・節無し，③下位部・節有り，の3区に分類し合計54処理区の麦藁の沈下率を調査した。

なお，稈のワックスの量は0（無）～5（極多）の6段階評価で，麦育種の専

門家の観察による評価とした。

（２）試験結果

この試験の結果は，各処理区における麦藁の50%が沈下するのに要した日数をS_{50}値，90%が沈下するのに要した日数をS_{90}値として検討した。その結果は表2-3に示すとおりで，品種間差は部位別に見た場合，S_{50}値で下位部・節有り麦藁が最大15日差，S_{90}値で，下位部・節無し麦藁が最大17日差，下位部・節有り麦藁が最大24日差で，それ以外の①区（上位部・節無し藁）と②区（下位部・節無し藁）のS_{50}値には沈下率の品種間差は見られなかった。

表2-3　麦藁の直径・質量及びS_{50}値・S_{90}値

品種	ﾜｯｸｽ	上位部・節無し 直径	質量	S_{50}	S_{90}	下位部・節無し 直径	質量	S_{50}	S_{90}	下位部・節有り 直径	質量	S_{50}	S_{90}
1. SUPER PRECOZ	0	2.15	5.35	3	5	3.68	14.31	5	11	3.67	18.83	19	32
2. ANAHUAC	1	2.55	6.08	3	5	4.59	16.75	5	8	4.33	19.02	21	34
3. COCORAQUE	1	2.41	5.65	4	6	4.31	17.03	5	10	3.94	18.14	24	37
4. BETHLEHEM	4	2.66	6.11	6	8	4.26	13.57	6	11	4.18	18.85	24	39
5. ｵﾏｾｺﾑｷﾞ	3	2.17	5.36	4	7	3.81	13.79	5	15	4.06	20.32	26	42
6. FUNELLO	4	2.94	7.02	4	7	4.91	17.43	4	10	5.07	22.60	23	42
7. FUNERO	4	2.74	7.50	6	8	4.99	22.04	5	9	4.66	23.50	23	43
8. CLUB HYBRID	0	2.54	8.46	3	7	3.77	14.65	4	7	3.83	19.74	27	43
9. ｱｻｶｾﾞｺﾑｷﾞ	3	2.38	6.86	6	7	4.24	16.50	5	9	3.88	20.65	26	44
10. 農林61号	3	2.07	5.90	4	6	3.99	15.17	5	9	3.95	22.34	22	44
11. ｼﾛｶﾞﾈｺﾑｷﾞ	3	2.12	5.82	4	6	3.87	14.82	4	10	3.72	18.96	26	45
12. 農林26号	3	2.40	7.12	6	8	3.87	16.28	5	8	3.89	24.50	30	48
13. SPELTA no. 1	0	2.39	8.41	5	8	4.23	20.19	5	14	4.31	28.28	27	48
14. ﾌｸﾜｾｺﾑｷﾞ	3	2.33	5.99	5	6	3.94	15.25	5	15	3.80	31.32	30	49
15. SHAFIR	1	2.77	7.66	3	6	4.62	18.50	4	10	4.63	22.61	26	50
16. ｼﾗｻｷﾞｺﾑｷﾞ	3	2.44	7.02	5	7	3.78	17.24	5	24	4.29	24.96	30	52
17. COMBINE	4	3.35	9.07	3	8	5.39	21.65	5	8	5.22	26.07	23	56
18. ｾﾄｺﾑｷﾞ	3	2.40	7.27	6	7	4.05	15.85	5	8	3.91	22.13	34	56
平均値	2.4	2.49	6.81	4.4	6.8	4.24	16.72	4.8	10.9	4.19	21.82	25.6	44.7
最小値	0	2.07	5.35	3	5	3.68	13.57	4	7	3.67	18.14	19	32
最大値	4	3.35	9.07	6	8	5.39	22.04	6	24	5.22	31.32	34	56

注1）ワックスの値は観察による６段階評価（無=0、微=1、少=2、中=3、多=4、極多=5）
注2）直径は麦藁100本の平均値で単位はmm，質量は100本の合計で単位はg
注3）下位部・節有り・S_{90}値の小さい順に並べた

また，節の有無（節無し=0，節有り=1とする）(X_1)，ワックスの量(X_2)，麦藁100本の平均直径(X_3)および麦藁100本の質量(X_4)を説明変数とし，S_{50}値とS_{90}値を目的変数とする重回帰分析を行ったところ，表2-4のように，

$S_{50}=17.5X_1+0.518X_2-3.36X_3+0.617X_4+7.45$

$S_{90}=26.3X_1+1.02X_2-5.50X_3+1.40X_4+8.47$

なる関係式を得た。

表2-4　S_{50}値・S_{90}値に対する節の有無・ワックス・直径・質量の重回帰分析結果

(1)S_{50}値に対する各説明変数の値（重相関係数R＝0.983）

	節の有無(X_1)	ワックス(X_2)	直径(X_3)	質量(X_4)	残差
偏回帰係数	17.5	0.518	-3.36	0.617	7.45
標準偏回帰係数	0.816	0.073	-0.302	0.403	0.034
上記ウエイト(%)	50.1	4.5	18.6	24.7	2.1

(2)S_{90}値に対する各説明変数の値（重相関係数R＝0.979）

	節の有無(X_1)	ワックス(X_2)	直径(X_3)	質量(X_4)	残差
偏回帰係数	26.3	1.02	-5.50	1.40	8.47
標準偏回帰係数	0.707	0.083	-0.286	0.526	0.042
上記ウエイト(%)	43.1	5.0	17.4	32.0	2.5

S_{50}値に対する重相関係数は0.983，S_{90}値に対する重相関係数は0.979で，両者とも極めて高かった。また，節の有無，ワックスの量，直径，質量に対する標準偏回帰係数はS_{50}値で各0.816，0.073，-0.302，0.403，S_{90}値で各0.707，0.083，-0.286，0.526で，麦藁の沈下率に影響する割合は節の有無が最も高く，質量，直径，ワックスの量の順となった。

図2-9は，品種に関係なく，部位処理法別に麦藁の（質量／直径）とS_{50}値・S_{90}値との関係を見たものであるが，処理毎にまとまって分布し，かつ，直線回帰ができた。この図から，節有り藁S値は節無し藁S値より数倍の値を示す

ことが明らかになり，さらに同じ部位の節無し藁ではS$_{50}$とS$_{90}$の両回帰線がほぼ同一直線上に分布するのに，下位部節有り藁の場合は（質量／直径）が同じ範囲に分布し，S$_{50}$とS$_{90}$の両回帰線が約2倍の差を示して大きな違いを示す。さらに，同じ部位処理であれば（質量／直径）が小さい方がS値が小さくなるが，節有りに比べて節無しの方が差が小さいことが示される。

すなわち，水に沈みにくい麦藁とは，節が有り重くて細い麦藁，すなわち稈壁が丈夫で緻密な節有り藁であり，ワックスの量は多い方が沈みにくいものの，さほど大きな要因ではないと考えられた。

また，これらの結果は，麦藁の沈下率がその品種，すなわち麦藁の質的な差異に依存しているというよりも，むしろ節の有無，質量，直径などの外観・形状に依存していることを示唆しているかに見える。しかし，節の数，ワックスの量，質量，直径などは品種によって明らかに差があり，また，質量・直径などは栽培方法によって変化することが考えられるので，麦藁の沈下率は麦の品種と栽培方法によって変化すると言うべきである。

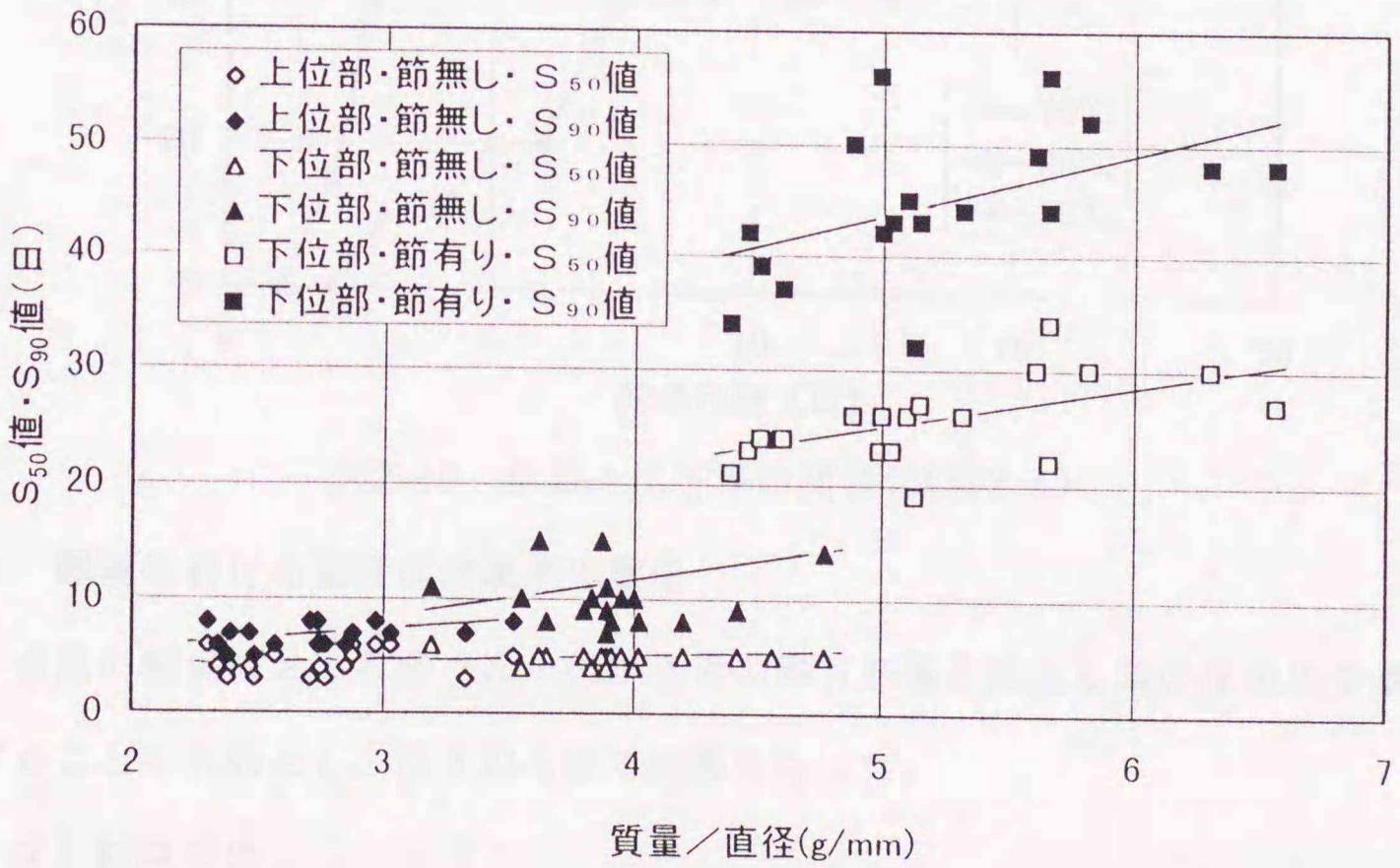


図2-9　麦藁の質量/直径とS$_{50}$値・S$_{90}$値の関係(試験2-3)

4）試験2-4：水温の影響

（1）試験方法

水の温度が麦藁の沈下率に与える影響を明らかにするため、農林61号の風乾麦藁の下位部の節無し藁を供試し、長さ10cmに切断し、10℃、20℃、30℃の水に浮かべて沈下率を測定した。麦藁の本数は各組20本とした。

（2）試験結果

水温と沈下率の関係を図2-10に示す。処理後5日目の沈下率は，水温20℃および30℃の区が85%とほぼ等しかったのに対し，水温10℃の区は20%で前者に比べて極端に低かった。

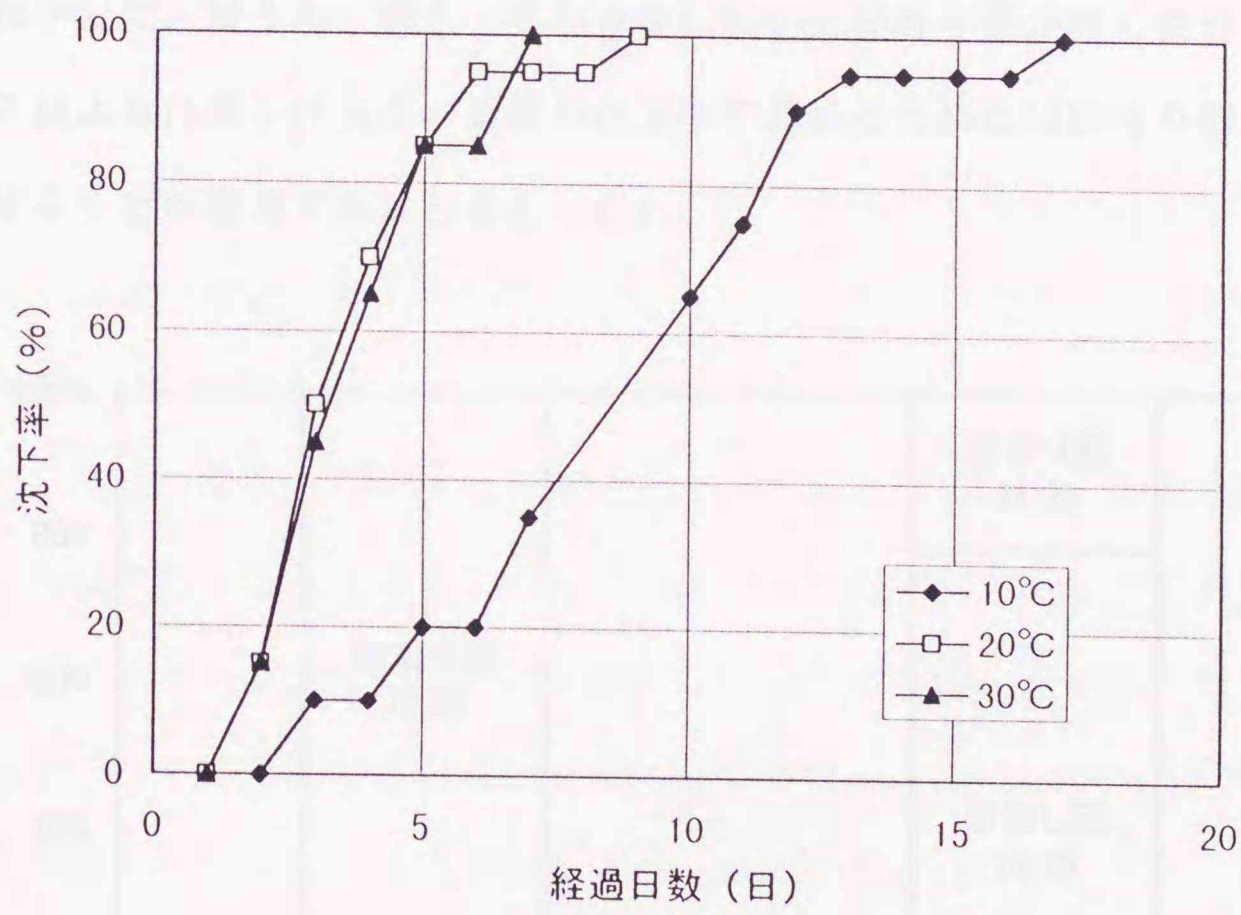


図2-10　水温と沈下率の関係(試験2-4)

4　圃場における麦藁の浮遊率の調査

実際の圃場における耕うん・代かき後の節有り藁と節無し藁の浮遊率を調査することを目的とし，以下の方法で試験を行った。

1）試験方法

中国農試の10a水田に作付けたアサカゼコムギを市販のコンバイン（Y社製TC

3500）で収穫し，細断した麦藁を圃場に散布し，耕うん・湛水・代かきを行い，耕うん前に圃場から採取した散布藁約2200本と，代かき後水面上に浮遊した麦藁約3900本について，節有り・節無し藁の質量割合を調査した。

２）試験結果

この結果は図2-11に示すように，圃場に散布した耕うん前の散布藁の内，節有り藁の割合は21.3%で，代かき後の浮遊藁の節有り藁の割合は79.5%であった。

麦藁全体の浮遊率を4%として計算した場合，浮遊藁中の節有り藁の割合は3.18%，節無し藁の割合は0.82%となり，この比率から計算すると，節有り藁の14.9%が，また節無し藁の1.0%が浮遊藁になったと考えられた。

したがって，耕うん・湛水・代かき後において節有り藁が浮く割合は節無し藁のそれよりはるかに高く，麦藁の沈下率を高めるためには節有り藁の沈下を促進することが重要であると考えられた。

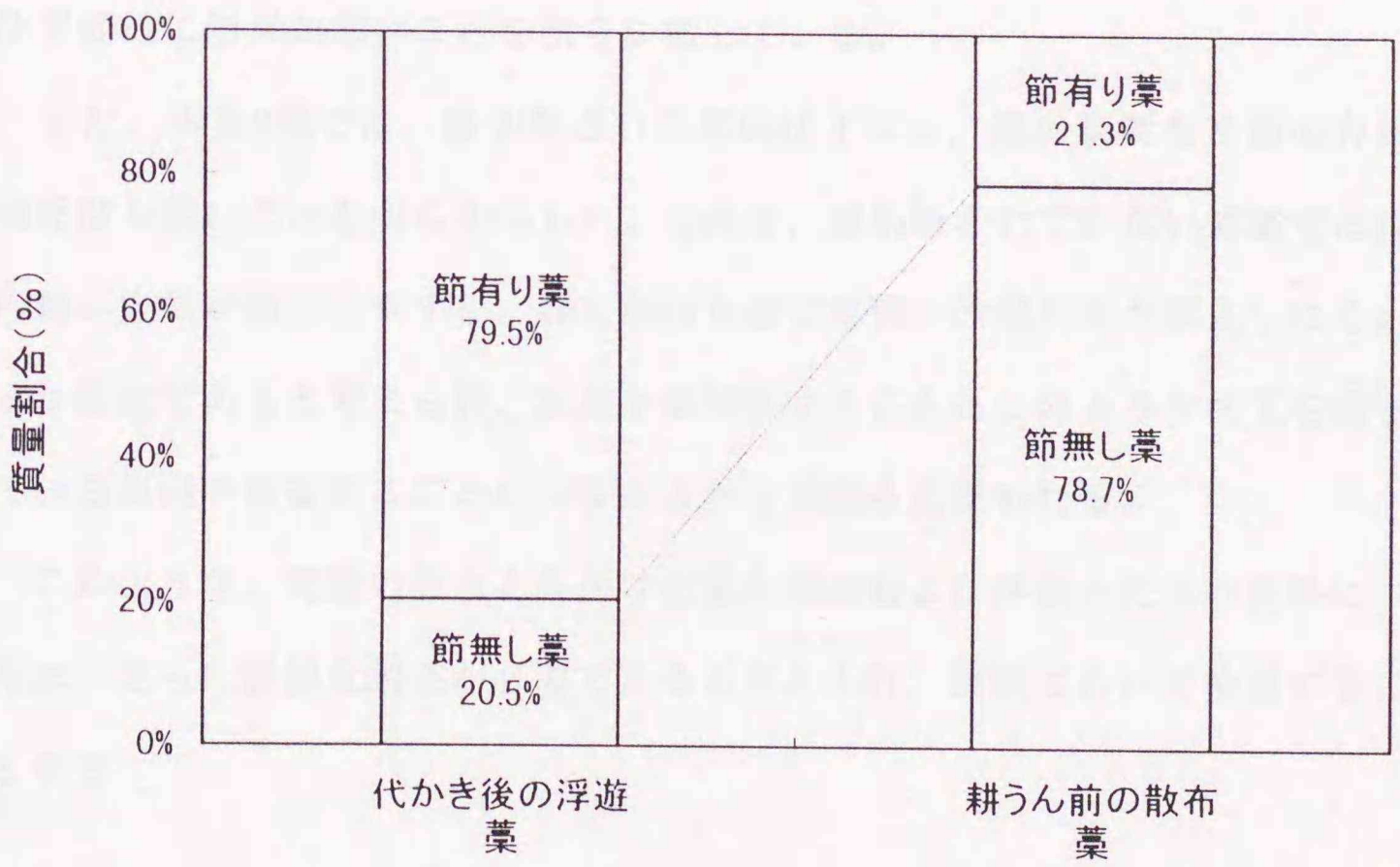


図2-11　耕うん前散布藁と代かき後浮遊藁の節有り・節無し藁の重量割合

5　試験結果の考察

以上のように，本章4項では，耕うん・代かき後に湛水面上に浮遊する藁は大部分が節有り藁であることを示し，3項の室内試験において，節有り藁を縦切断することによって沈下を促進できることを明らかにした。

しかし，同じ室内試験の中で，麦藁を短く切断することによって麦藁の沈下を促進できるとの結果に対しては，実際の圃場試験によって好ましい手法でないとの結果が報告されている。これら報告によると，短切断は耕うんによる下層埋没には適するが，代かき時の水深が深いと浮上しやすい傾向にあり，10～15cmの長めが望ましい[60]，代かき後では切断長の長い藁ほど土壌表層に多く，水面への浮遊量は5cmの短切断藁に多いことから15cm程度が良い[63]，などと結論して短切断をむしろ否定している。すなわち，短い藁は耕うん時には全層に良く混ざるが代かき後に上層藁が浮遊しやすく，代かき後に深水にした場合風によって浮遊・集積するのはむしろ短い藁の方であるとして，短切断は麦藁の沈下促進に効果がないことを明らかにしている。

また，本章3項では，縦切断された藁の沈下率は，藁の切断長や節の有無に関係なく高いことを明らかにした。これは，縦切断されていない麦藁では稈の内側に空気が溜まりやすく，特に節有り藁では稈の内部に水が進入しにくいことが理由であると考えられ，麦藁を縦切断することはこのような沈下を阻害している原因を除去することにつながるからであると思われる。

このような，麦藁の吸水とみかけ比重の増加および浮遊と沈下の関係については，さらに詳細な調査が必要であると考えられ，次章において検討することとする。

6　本章のまとめ

麦藁の沈下特性を検討するため，麦藁の品種，部位および処理方法などを変

えた場合の麦藁の沈下率を調査した。また，実際の圃場における散布藁と，代かき後の浮遊藁の節の有無を調査した。その結果，以下のことを明らかにした。

1）一定の長さに切断した麦藁の沈下率は，節有り藁と節無し藁では全く異なり，節無し藁は節有り藁より沈下が速かった。両者とも質量が大きく直径の小さい藁の方が水中に沈下しにくく，稈の表面のワックスの量は沈下率にはあまり関係がなかった。

2）麦藁の沈下は長さの短い方が速かったが，縦切断処理をした藁は長さに関係なく沈下が速かった。縦切断藁の沈下率は，節の有無，藁の長さに関係なく3日目でほぼ95%に達した。

3）灌水処理は縦切断藁に対して沈下を促進する効果が大きかった。また，水温が高い方が沈下が速かった。

4）圃場に散布した麦藁の中で，耕うん・代かき後に水面上に浮遊する藁の8割は節有り藁であり，圃場に散布した節有り藁の約15%，節無し藁の1%が浮遊藁になっていると考えられた。したがって，耕うん・代かき後の麦藁の浮遊量を減少させるためには，節有り藁の沈下を促進する必要があると考えられた。

第Ⅲ章　麦藁の浮遊と沈下の理論的解析

1　本章の目的

第Ⅱ章では，麦藁をさまざまな形状に処理して水面上に放置し，縦切断した麦藁の沈下が速いことを明らかにした。

物体が水面上に浮遊する現象を説明するためには，比重，浮力，水の表面張力と物体の濡れ角など，多くの物理要素を考えねばならない。特に稈の直径が小さい麦藁を対象とした場合でも，藁を水面に浮かべた直後は，これらの要素が絡み合って浮上していると考えられる。しかし，本試験では計測単位が１日であり，その間に麦藁が吸水して不十分でも親水性を持つように変わることから，ここでは浮力，表面張力，濡れ角などは考慮外とし，麦藁の浮遊と沈下の現象は，麦藁の比重変化によって起こると仮定して検討する。

このように，麦藁の比重変化のみに限定しても麦藁の形状は複雑であり，特に稈の内側に気泡を保持していると，実比重（後述）が水より大きくなってもみかけ比重は水より小さく水中に沈下しない。

したがって，麦藁が水面上に浮遊している理由が，実比重が水より小さいためか，あるいは，麦藁に付着した気泡の存在によりみかけ比重が水より小さくなっているためなのかを明らかにすることは，麦藁の浮遊と沈下という現象を正確に理解するために必要である。

本章では，麦藁の実比重の増加と沈下率の関係を調査することにより，麦藁の浮遊と沈下の理論的解析を行った。

2　麦藁の比重の定義と形状のモデル化

1）麦藁の比重の定義

一般に，麦藁のような植物体は乾物，水，気体から構成される。そこで，土壌の模式的構成[70]を参考に麦藁の模式的構成を図3-1のように作成し，麦藁の真比重，実比重，みかけ比重を表3-1のように定義した。なお，比重とは，物質の質量とその物体と同体積の標準物質の質量の比のことをいうが[71]，ここでは標準物質を密度1(mg/mm^3)の水とした。また，麦藁に付着した気泡は，浮遊と沈下の過程でも存在し，麦藁の内部の気体とは異なるために，また，麦藁の沈下現象を説明するために，麦藁の構成要素の一部（付着気泡）とした。ただし，縦切断した麦藁には付着気泡がないもの，つまり，みかけ比重は実比重に等しいとした。

表3-1において，比重または真比重および見かけ比重は一般的な定義であるが，本研究では，更に付着気泡を定義したことで新たに実比重の用語を用いた。この実比重は，麦藁を構成する乾物，水，気体を合わせた全体の比重と定める。

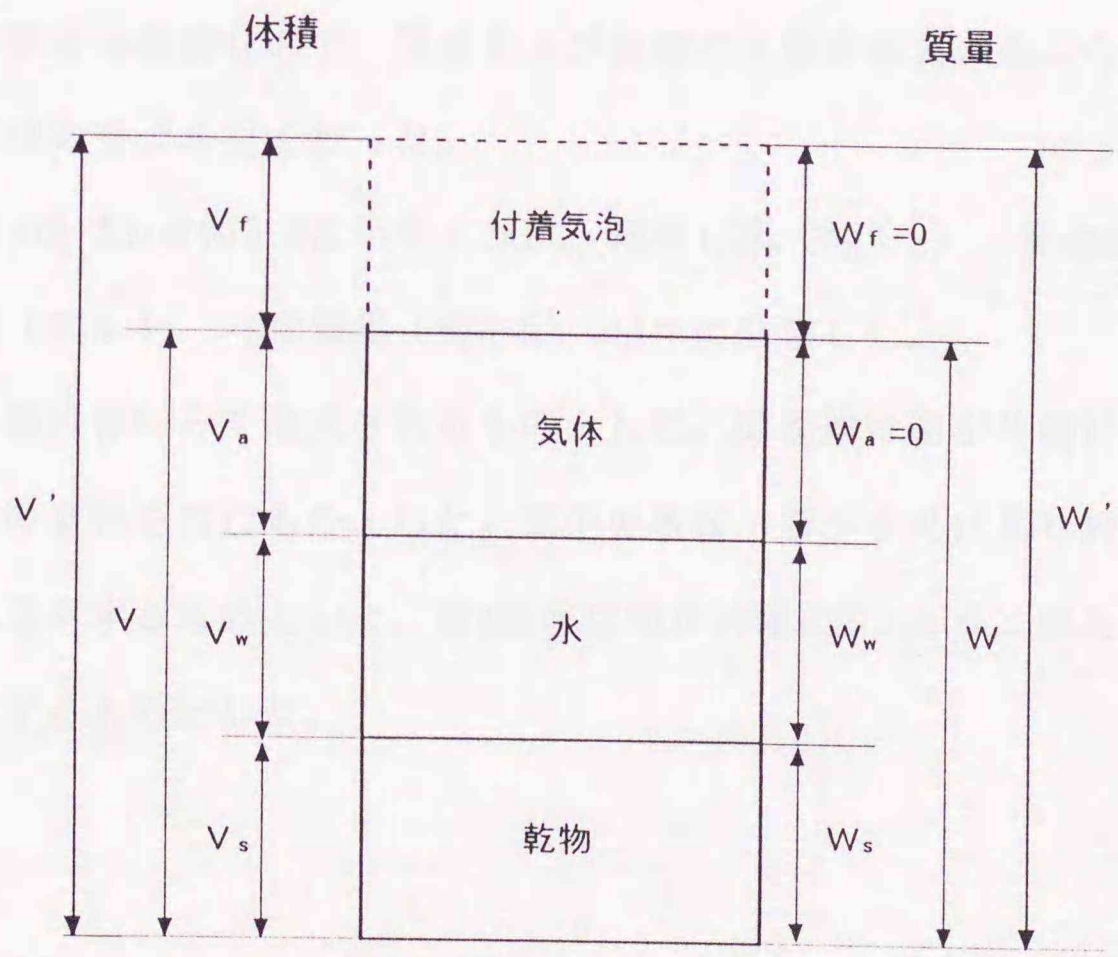


図3-1　麦藁の模式的構成

表3-1　麦藁の構成要素の密度・体積・質量・比重・水分の定義

	密度 (mg/mm^3)	体積 (mm^3)	質量 (mg)	比重	水分 (%)
乾物	W_s/V_s	V_s	W_s	G_s（真比重）	
水	1	V_w	W_w	$G_w=1$	
気体	0	V_a	$W_a=0$	$G_a=0$	
上記全体	W/V	V	W	G（実比重）	$C=100\cdot W_w/W$
付着気泡	0	V_f	$W_f=0$	$G_f=0$	
上記全体	W'/V'	V'	W'	$G'=W'/V'$（みかけ比重）	

注）風乾時は(d)，吸水試験後は(a)，完全吸水後は(e)の添え字を各変数の後ろに付ける

2）麦藁の浮遊と沈下の定義

麦藁は，水面上に散布された直後は水の浮力により麦藁の全体積の大部分が水の表面上にあり，みかけ比重は1より小さい（浮遊状態）。その後，吸水によって麦藁のみかけ比重が1より大きくなると麦藁は水中に沈下する（沈下状態）。また，麦藁のみかけ比重が1のとき麦藁は水中に浮遊しているものとする。

3）麦藁の質量および体積の計算式

麦藁の形状は複雑なので，質量および体積の計算が容易におこなえるよう，麦藁の形状のモデル化を行った。

麦藁は図3-2から図3-5に示すように，節無し藁（図3-2），節端藁（図3-3），節中央藁（図3-4），節2個藁（図3-5）の4つに分類した。

節無し藁は稈のみで構成されるものとした。節端藁は節が片端にあり，稈と同じ長さの葉鞘を含むものとした。節中央藁は，節が中央にあり稈の長さの半分の葉鞘を有するものとした。節2個藁は節が両端に2つあり，稈と同じ長さの葉鞘を有するものとした。

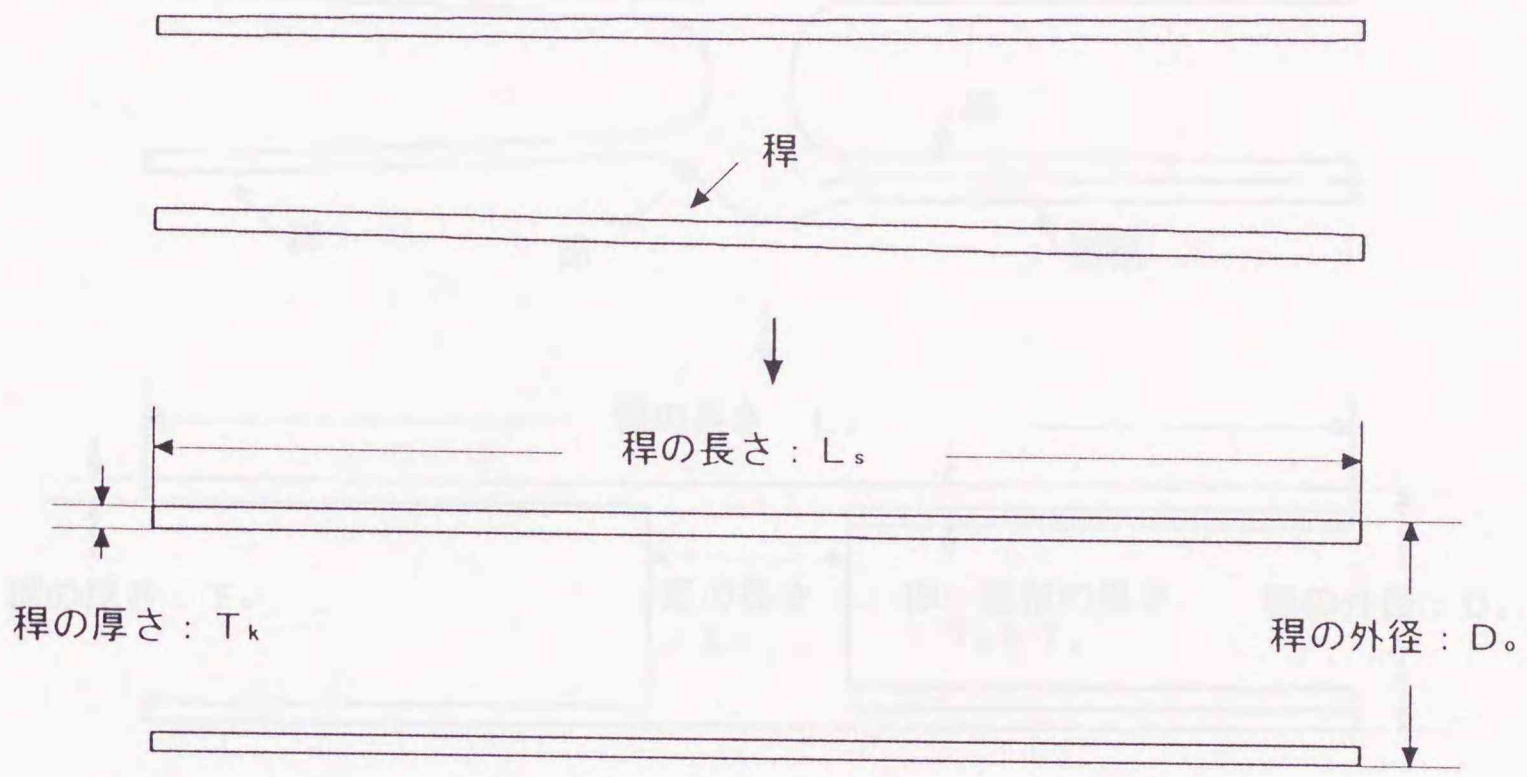


図3-2　麦藁のモデル化（節無し藁）

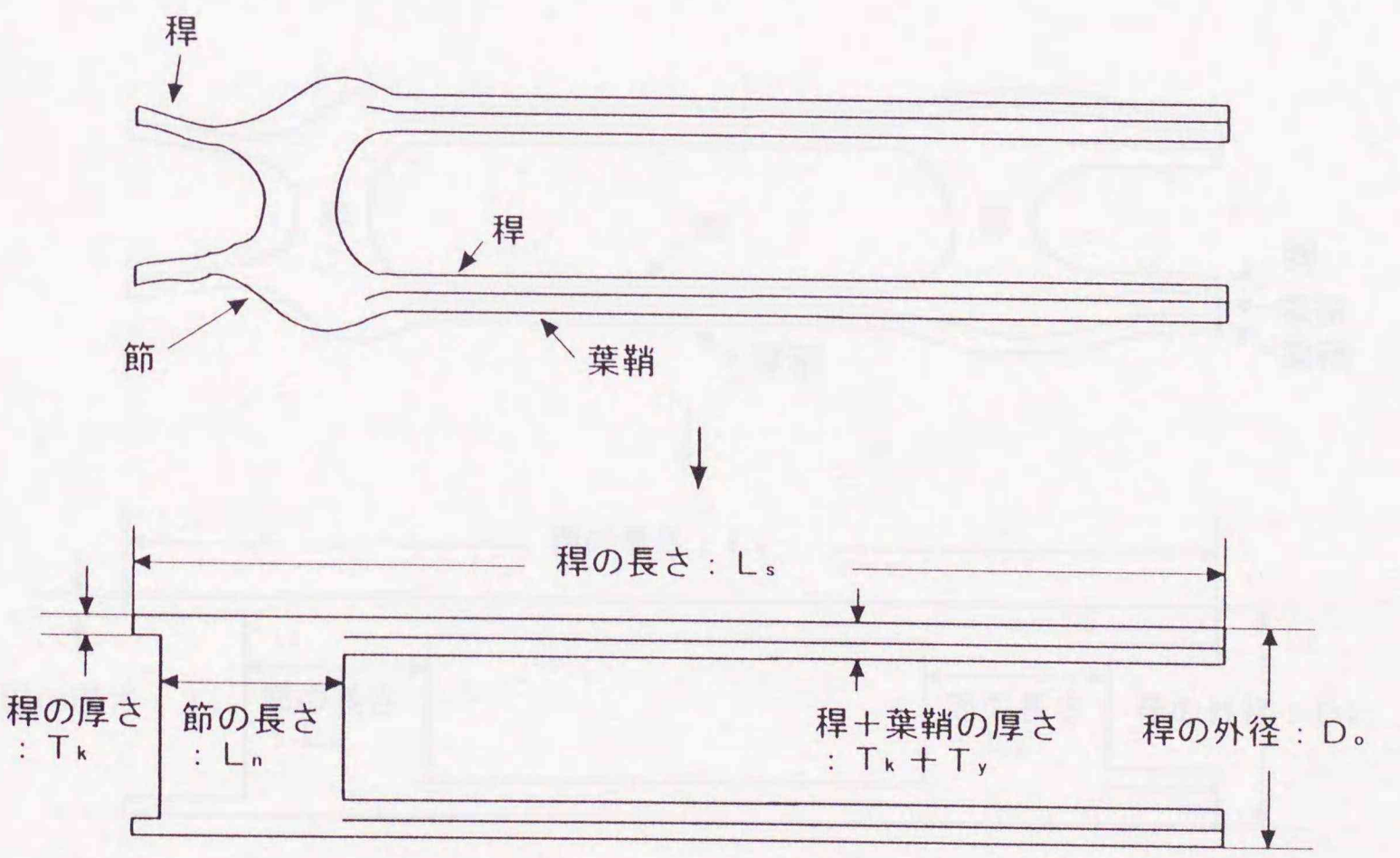


図3-3　麦藁のモデル化（節端藁）

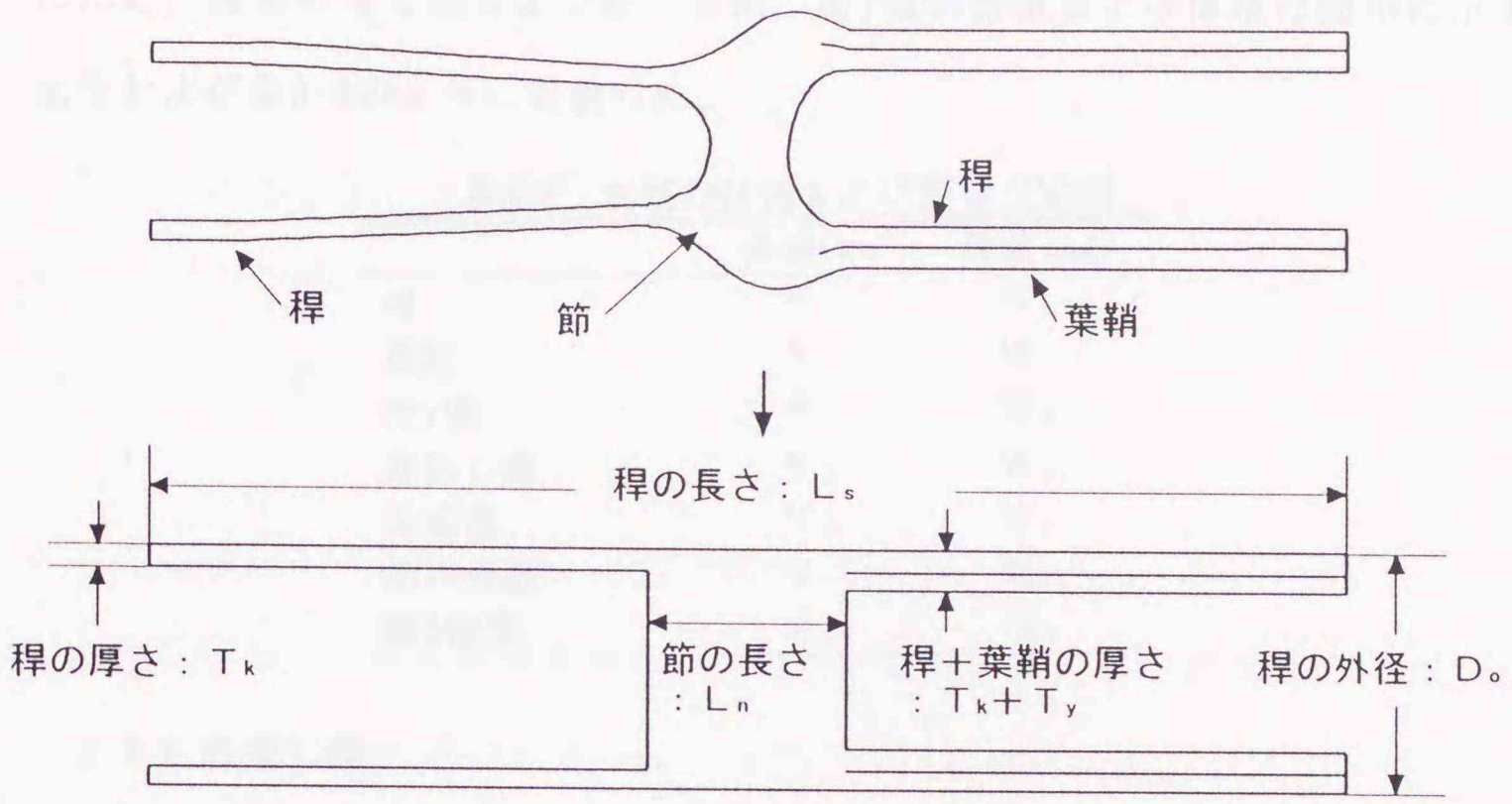


図3-4　麦藁のモデル化（節中央藁）

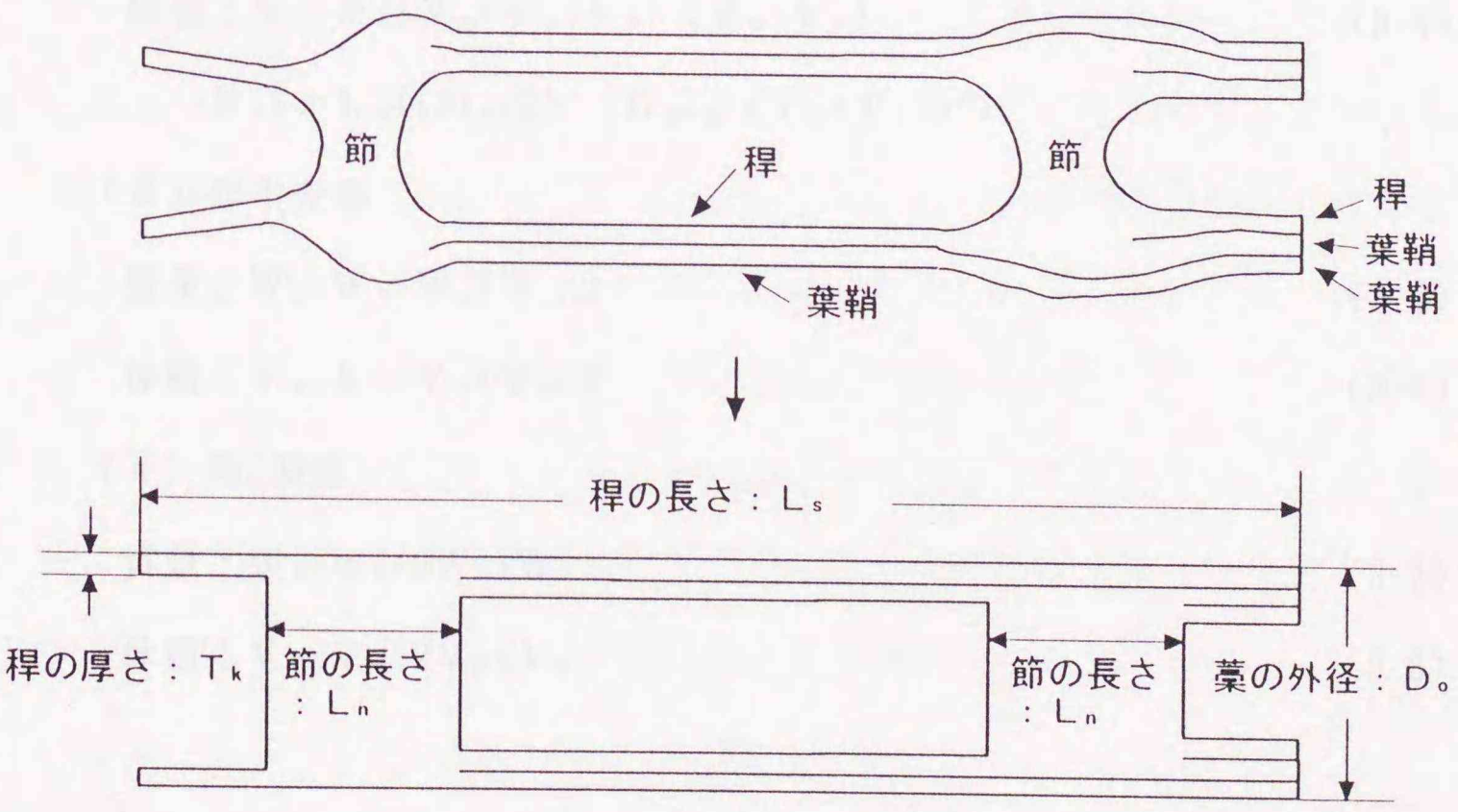


図3-5　麦藁のモデル化（節2個藁）

図3-2から図3-5により，麦藁の質量および体積は以下のように計算できる。ただし，麦藁の各寸法および稈，葉鞘，節1個の質量および体積は図中に示す記号および表3-2のように定義した。

表3-2　麦藁の体積および質量の定義

	体積(mm^3)	質量(mg)
稈	V_k	W_k
葉鞘	V_y	W_y
節1個	V_n	W_n
節無し藁	V_o	W_o
節端藁	V_s	W_s
節中央藁	V_c	W_c
節2個藁	V_2	W_2

（1）節無し藁

質量：$W_0=W_k$ (3-1)

体積：$V_0=V_k=\pi L_s((D_o/2)^2-(D_o/2-T_k)^2)$ (3-2)

（3）節端藁

質量：$W_s=W_k+W_n+W_y$ (3-3)

体積：$V_s=V_k+V_n+V_y=V_n+(V_k+V_y)$ (3-4)

$=V_n+\pi L_s((D_o/2)^2-(D_o/2-(T_k+T_y))^2)$

（2）節中央藁

質量：$W_c=W_k+W_n+W_y/2$ (3-5)

体積：$V_c=V_k+V_n+V_y/2$ (3-6)

（4）節2個藁

質量：$W_2=W_k+2W_n+W_y$ (3-7)

体積：$V_2=V_k+2V_n+V_y$ (3-8)

3　試験方法

1）試験3-1：水に浮かべた麦藁のみかけ比重の増加

水に浮かべた麦藁のみかけ比重の増加と沈下率を調査するため，①節無し藁，②節無し縦切断藁，③節端藁，④節中央藁，を5組用意し，2，4，6，8，12日目に沈下率を測定し，更に①，③，④は縦切断して再び沈下率を測定した。その後，麦藁の表面の水分を取り除いて質量を測定した。

2）試験3-2：水中に沈めた麦藁のみかけ比重の増加

水中に強制的に沈めた麦藁のみかけ比重の増加と沈下率を調査するため，①節無し藁，②節無し縦切断藁，③節端藁，④節端縦切断藁，⑤節2個藁，を6組用意し，各藁の内部の空気をできるだけ取り除いて強制的に水中に沈め，2，4，6，8，12，16日目に沈下率を測定し，更に①，③，⑤は縦切断して再び沈下率を測定した。その後，藁の表面の水分を取り除いて質量を測定した。

上記の試験で用いた麦藁の品種は農林61号，藁の長さは全て10cm，藁の部位は下位部，藁の本数は各組10本とした。供試した麦藁の風乾時（風乾時の麦藁と呼ぶ）の質量，外径，稈および葉鞘の厚さは浸水前に計測した。試験時の水温は約10℃，麦藁の水分は6%であった。また，藁の表面の水分を取り除く方法として，縦切断した藁を1本ずつ綿の不織布に挟み，ロール状に巻いて外側を紐でしばり，洗濯機の脱水装置を用いて約5分間脱水した。

試験3-1，試験3-2で吸水処理した麦藁（吸水試験後の麦藁と呼ぶ）は，調査後に強制的に15日以上水中に浸けて十分に吸水させた後（完全吸水後の麦藁と呼ぶ），再び表面の水分を取り除いて質量を測定した。

4　試験結果および考察

1）風乾時の麦藁の質量および体積の計算

試験に供試した風乾時の麦藁の寸法および質量の平均値（表3-3）から，各形状毎に，質量および体積の平均値を持つ藁（標準藁）の稈，葉鞘，節の質量および体積を計算した。

表3-3　試験に供試した藁の寸法と質量

	節無し藁	節端藁	節中央藁	節2個藁
外径(mm)	2.9	3.22		
厚さ(mm)	0.254	0.346		
質量(mg/本)	78.17	129.20	116.27	151.68

（1）稈の質量

式（3-1）より，

$W_k = W_0 = 78.17mg$

（2）葉鞘の質量

式（3-3）と式（3-5）より，

$W_y = 2(W_s - W_c) = 2 \times (129.2 - 116.27) = 25.86mg$

（3）節の質量

式（3-3）より

$W_n = W_s - W_k - W_y = 129.2 - 78.17 - 25.86 = 25.17mg$

（4）稈の体積

式（3-2）に表3-1の節無し藁の外径と厚さを代入して，

$V_k = V_0 = 3.14 \times 100 \times (2.103 - 1.430) = 211.3mm^3$

（5）節の体積

節の密度は稈の密度と等しいとおくと，

$V_n : V_k = W_n : W_k$

したがって，

$V_n = V_k W_n / W_k = 211.3 \times 25.17 / 78.17 = 68.04 mm^3$

（6）葉鞘の体積

式（3-4）より，

$V_k + V_y = 3.14 \times 100 \times (2.592 - 1.598) = 312.1 mm^3$

したがって，

$V_y = 312.1 - V_k = 312.1 - 211.3 = 100.8 mm^3$

（7）標準藻の質量と体積

以上の計算により，標準藻の質量と体積は以下のようになる。

①節無し藻の質量

$W_0 = W_k = 78.17 mg$

②節無し藻の体積

$V_0 = V_k = 211.3 mm^3$

③節端藻の質量

$W_s = W_k + W_n + W_y = 78.17 + 25.17 + 25.86 = 129.2 mg$

④節端藻の体積

$V_s = V_k + V_n + V_y = 211.3 + 68.04 + 100.8 = 380.14 mm^3$

⑤節中央藻の質量

$W_c = W_k + W_n + 1/2 \cdot W_y = 78.17 + 25.17 + 12.93 = 116.27 mg$

⑥節中央藻の体積

$V_c = V_k + V_n + 1/2 \cdot V_y = 211.3 + 68.04 + 50.4 = 329.74 mm^3$

⑦節2個藻の質量

$W_2 = W_k + 2W_n + W_y = 78.17 + 50.34 + 25.86 = 154.37 mg$

⑧節2個藻の体積

$V_2 = V_k + 2V_n + V_y = 211.3 + 136.08 + 100.8 = 448.18 mm^3$

以上の結果のまとめを表3-4に示したが，稈および節部のみの実比重は0.37，

葉鞘部のみの実比重は0.257となる。したがって，標準藁の実比重は，節無し藁が0.37，節端藁および節2個藁が0.34，節中央藁が0.35であった。

表3-4　標準藁の質量・体積・実比重

	質量(mg/本)				体積(mm³/本)				実比重
	稈	節	葉鞘	合計	稈	節	葉鞘	合計	
節無し藁	78.17			78.17	211.3			211.3	0.37
節端藁	78.17	25.17	25.86	129.20	211.3	68.04	100.80	380.14	0.34
節中央藁	78.17	25.17	12.93	116.27	211.3	68.04	50.40	329.74	0.35
節２個藁	78.17	50.34	25.86	154.37	211.3	136.08	100.80	448.18	0.34

なお，節の半径D_oと長さL_nおよび体積V_nの間には以下の式が成り立つ。

$$V_n=\pi L_n(D_o/2-T_k)^2$$

節の体積V_nが68.04mm³，節の半径（$D_o/2-T_k$）が1.20mmであるから，節の長さは，

$$L_n=V_n/(\pi(D_o/2-T_k)^2)=68.04/(3.14\times 1.430)=15.15\text{mm}$$

となる。

また，表3-4に示すように，計算では節2個藁の質量は154.37mgとなるが，実際に測定した節2個藁の質量は表3-3にあるように151.68mgで，計算値より2.69mg小さい。この差は1.8%の差なので誤差とみてさしつかえないと考えられ，稈，葉鞘，節の質量および体積の計算結果は概ね正しいと判断された。

２）試験結果

試験3-1と試験3-2の結果を表3-5と表3-6に示す。なお，麦藁の形状が同じであればその質量と体積は1次の直線回帰ができると仮定し，標準藁の質量と体積から計算した各藁の風乾時の体積を表3-5と表3-6に付け加えた。

試験1では，水面上に浮かべた麦藁の沈下率を調査したが，第Ⅱ章の試験結果と同様に縦切断藁の沈下率が最も高く，また，節有り藁より節無し藁の方が沈下率が高かった。節端藁と節中央藁を比較すると，節端藁の沈下率がやや高

かったが，縦切断した麦藁の沈下率は節中央藁がやや高く，両者の沈下率の差は小さいと考えられた。

吸水試験後に縦切断した麦藁の沈下率は，いずれも縦切断前の麦藁の沈下率より高く，実比重が水より大きく本来沈下すべき麦藁が，稈の内側の気泡によりみかけ比重が水より小さくなって浮遊していると考えられた。

風乾時の質量に対する完全吸水後の質量は，節無し藁で3.68～3.8倍，節端藁と節中央藁および節2個藁で3.96～4.05倍であった。

表3-5　試験3-1の結果

	風乾時の質量 (mg)	風乾時の体積 (mm^3)	処理日数	沈下率 (%)	縦切断時の沈下率 (%)	吸水試験後の質量 (mg)	完全吸水後の質量 (mg)
節無し藁	83.79	226.17	2	0		243.39	321.92
	79.58	214.80	4	20	30	246.81	276.96
	87.67	236.64	6	30	40	282.29	319.16
	84.43	227.89	8	60	85	270.83	294.05
	70.67	190.75	12	100	100	260.24	282.22
平均	81.23	219.25				260.71	298.86
節無し縦切断藁	37.93	102.38	2	30		124.80	143.93
	36.06	97.33	2	50		126.53	140.75
	36.58	98.74	2	80		126.73	139.58
	36.88	99.55	6	90		129.81	141.29
	36.77	99.25	6	100		135.46	134.03
平均	36.84	99.45				128.67	139.92
節端藁	122.02	359.02	2	0		343.89	489.43
	128.67	378.59	4	0	0	390.59	525.00
	127.36	374.73	6	0	25	446.11	533.18
	138.99	408.95	8	10	60	494.49	551.61
	122.09	359.23	12	10	75	443.57	488.84
平均	127.83	376.10				423.73	517.61
節中央藁	101.13	286.63	2	0		283.02	397.15
	115.10	326.23	4	0	0	375.01	467.33
	122.18	346.29	6	0	35	413.90	476.62
	133.62	378.72	8	0	85	485.36	522.40
	109.30	309.79	12	0	90	415.96	440.98
平均	116.27	329.53				394.65	460.90

表3-6 試験3-2の結果

	風乾時の質量 (mg)	風乾時の体積 (mm^3)	処理日数	沈下率 (%)	縦切断時の沈下率 (%)	吸水試験後の質量 (mg)	完全吸水後の質量 (mg)
節無し藁	79.87	215.59	2	40		267.89	285.70
	78.47	211.81	4	80	85	267.37	281.81
	68.64	185.27	6	90	90	246.30	244.83
	78.94	213.07	8	100	100	289.02	302.72
	75.73	204.41	12	100	100	294.95	298.63
	83.93	226.54	16	100	100	310.12	319.21
平均	77.60	209.45				279.28	288.82
節無し縦切断藁	35.89	96.87	2	90		125.76	116.85
	42.71	115.28	4	80		153.36	166.55
	37.94	102.41	6	100		141.00	141.11
	43.46	117.31	8	100		168.00	172.02
	38.01	102.60	12	100		149.57	149.92
	42.52	114.77	16	100		164.42	169.01
平均	40.09	108.21				150.35	152.58
節端藁	118.25	347.93	2	0		377.94	457.51
	134.06	394.44	4	0	10	470.10	560.32
	119.70	352.19	6	0	65	450.65	492.31
	135.60	398.98	12	0	75	516.62	538.12
	117.87	346.81	16	0	90	470.28	479.68
平均	125.10	368.07				457.12	505.59
節端縦切断藁	63.26	186.13	2	0		220.36	217.56
	67.90	199.78	4	100		262.73	275.37
	70.06	206.14	6	100		280.41	282.33
	66.22	194.84	8	100		262.63	272.90
	67.27	197.93	12	100		277.02	268.12
	71.34	209.90	16	100		290.77	284.68
平均	67.68	199.12				265.65	266.83
節2個藁	155.27	450.69	2	0		374.50	621.21
	152.29	442.04	4	0	0	438.10	631.58
	159.13	461.89	6	0	10	492.63	616.23
	142.61	413.94	8	0	10	461.58	581.12
	146.63	425.61	12	0	20	512.39	568.66
	154.14	447.41	16	0	35	524.23	573.47
平均	151.68	440.26				467.24	598.71

試験2では，強制的に水中に沈めた麦藁の沈下率を調査したが，試験1と同様に縦切断藁の沈下率が最も高く，節2個藁の沈下率は最も低かった。

節無し藁では，稈の内部の空気をほぼ完全に取り除いて水中に沈めることができたため，縦切断前の沈下率と縦切断後の沈下率は等しかった。しかし，節端藁では稈の内部に空気が残っていたと思われ，縦切断後の沈下率の方が高かった。

風乾時の質量に対する完全吸水後の質量は，試験1の結果とほぼ等しく，節無し藁で3.72～3.81倍，節端藁と節2個藁で3.94～4.04倍であった。

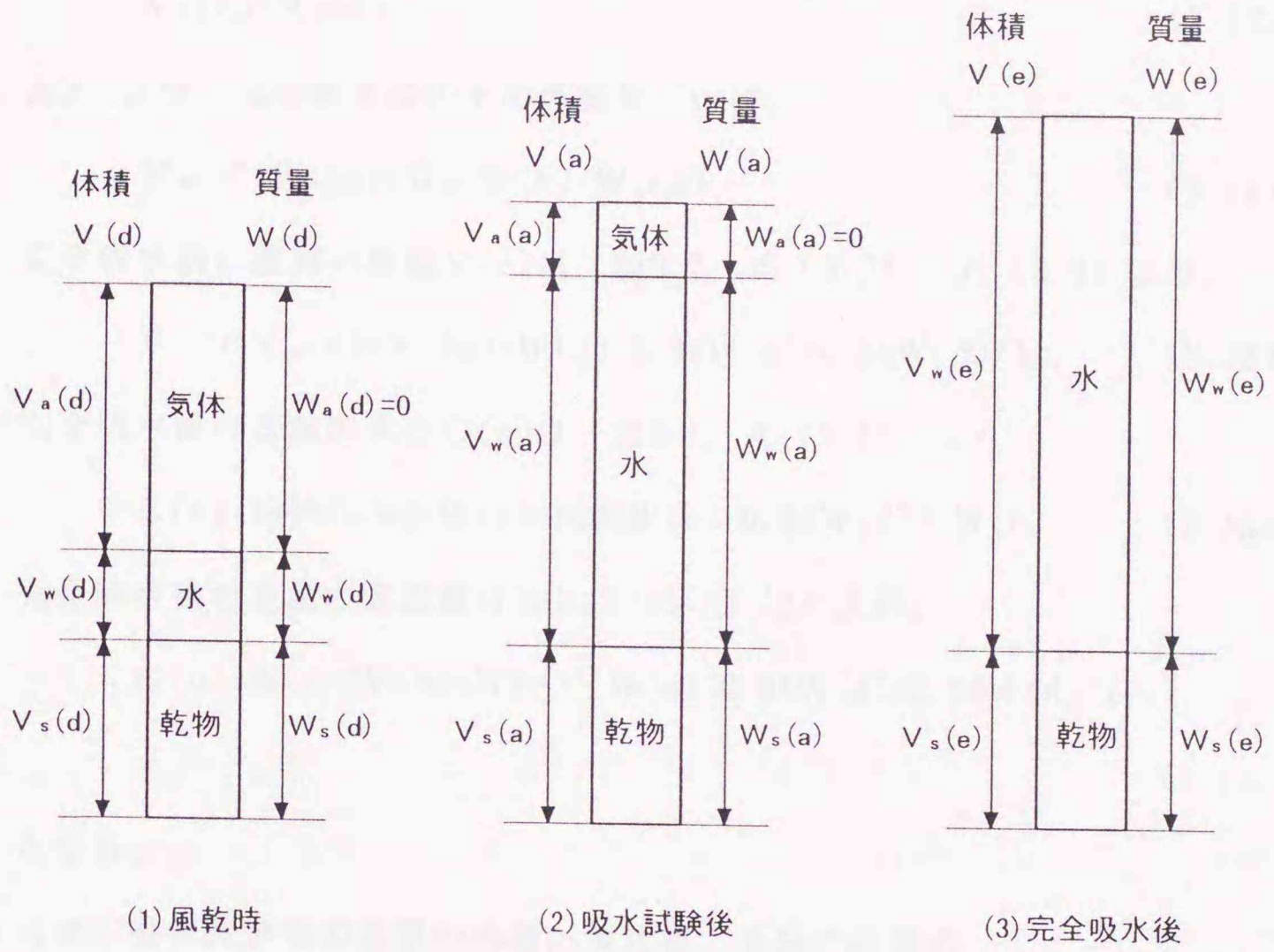
3）麦藁の体積，実比重，水分の計算式

吸水による麦藁の実比重の変化を知るためには，吸水試験後の麦藁の質量と体積を知ることが必要である。吸水試験後の麦藁の質量は，上記の試験のように麦藁の表面の水分を除去すれば測定できるが，麦藁の体積は吸水により膨張し軟弱化するので，吸水試験後の稈の厚みから体積を求めることは困難であった。

また，アルキメデスの原理を用いて，水を入れたメスシリンダーに麦藁を強制的に沈め，増加した水量から麦藁の体積を求めることを試みたが，気泡の付着や藁の吸水のため麦藁の体積を正確に測定することは困難であった。

そこで，図3-1の麦藁の模式的構成をもとに，吸水による麦藁の質量と体積の変化を図3-6に示すように考え，麦藁の真比重から実比重を推定することとした。

麦藁の真比重は木材の真比重と等しいと考えることとした。木材の真比重（細胞壁実質の比重）は，樹種などによってほとんど変化せず1.46～1.62程度の値であり，普通1.5が採用されていることから[72]，本章でもそれに従うことにして麦藁の真比重を1.5とした。



(1) 風乾時　　(2) 吸水試験後　　(3) 完全吸水後

図3-6　吸水による藁の質量・体積の変化

なお，麦藁の質量および体積は吸水によって増加するものの，その乾物の質量，体積，比重（麦藁の真比重）は変化しないこと，また，完全吸水後の麦藁は気体部分を含まないものとした。

具体的な計算方法は以下に示すとおりである。

（1）完全吸水後の麦藁の体積，実比重，水分の計算式

風乾時の麦藁の水分は6%であるから，風乾時の麦藁の乾物の質量$W_s(d)$は，

$$W_s(d)=0.94W(d) \tag{3-7}$$

風乾時の麦藁の乾物の体積$V_s(d)$は，

$$V_s(d)=W_s(d)/G_s \tag{3-8}$$

上記の2つの値は完全吸水後も変化しないとすると，完全吸水後の麦藁の質量$W_s(e)$と体積$V_s(e)$は，

$$W_s(e)=W_s(d) \tag{3-9}$$

$$V_s(e)=V_s(d) \tag{3-10}$$

表3-1より，完全吸水後の水の体積$V_w(e)$は，

$$V_w(e)=W_w(e)/G_w=W(e)-W_s(d) \tag{3-11}$$

完全吸水後の麦藁の体積$V(e)$は，図3-7，式（3-7），式（3-8）より，

$$V(e)=V_w(e)+V_s(e)=W(e)-0.94W(d)+0.94W(d)/G_s \tag{3-12}$$

完全吸水後の麦藁の水分$C(e)$は，表3-1，式（3-11）より，

$$C(e)=100W_w(e)/W(e)=100(W(e)-0.94W(d))/W(e) \tag{3-13}$$

完全吸水後の麦藁の実比重$G(e)$は，式（3-12）より，

$$G(e)=W(e)/V(e)=W(e)/(W(e)-0.94W(d)+0.94W(d)/G_s) \tag{3-14}$$

となる。

（２）吸水試験後の麦藁の体積，実比重，水分の計算式

吸水によって麦藁の体積は増加するが，その増加程度は吸水の程度に比例すると考えられる。そこで，体積と水分が直線的な回帰関係にあると仮定し，風乾時および完全吸水後の体積と水分から吸水試験後の体積を以下のように計算した。

乾物の質量と体積は風乾時，吸水試験後とも同じと仮定すると，吸水試験後の乾物の質量$W_s(a)$および体積$V_s(a)$は，

$$W_s(a)=W_s(d) \tag{3-15}$$

$$V_s(a)=V_s(d) \tag{3-16}$$

吸水試験後の麦藁の水分$C(a)$は，表3-1，式（3-16）より，

$$C(a)=100W_w(a)/W(a)=100(W(a)-V_s(d)G_s)/W(a) \tag{3-17}$$

ここで，吸水試験後の麦藁の体積と水分，風乾時の麦藁の体積と水分，完全吸水後の麦藁の体積と水分の関係を以下のように仮定する。

$$C(e)-C(d) : C(a)-C(d)=V(e)-V(d) : V(a)-V(d) \quad (3\text{-}18)$$

吸水試験後の麦藁の体積V(a)は，式（3-18）より，

$$V(a)=V(d)+(C(a)-C(d))(V(e)-V(d))/(C(e)-C(d)) \quad (3\text{-}19)$$

吸水試験後の麦藁の実比重G(a)は，

$$G(a)=W(a)/V(a) \quad (3\text{-}20)$$

となる。

4）吸水による麦藁の体積，実比重，水分の増加

（1）完全吸水後の麦藁の体積，実比重および水分

表3-7は，麦藁の真比重を1.5とし，式（3-12）から式（3-14）を用いて完全吸水後の麦藁の体積，実比重，水分を計算した結果である。

完全吸水後の麦藁の体積は風乾時の体積の1.23～1.29倍であった。完全吸水後の麦藁の実比重は1.08～1.09でほぼ一定であった。

完全吸水後の麦藁の水分は節無し藁で74.4～75.2%，節端藁と節中央藁および節2個藁で76.0～76.8であった。

表3-7　完全吸水後の麦藁の質量・体積・実比重・水分

	風乾時			完全吸水後				増加比	
	質量 (mg)	体積 (mm^3)	実比重	質量 (mg)	体積 (mm^3)	実比重	水分 (%)	質量*	体積**
試験1									
節無し藁	81.2	219.3	0.37	298.9	273.4	1.09	74.4	3.68	1.25
節無し縦切断藁	36.8	99.5	0.37	139.9	128.4	1.09	75.2	3.80	1.29
節端藁	127.8	376.1	0.34	517.6	477.6	1.08	76.8	4.05	1.27
節中央藁	116.3	329.5	0.35	460.9	424.5	1.09	76.3	3.96	1.29
試験2									
節無し藁	77.6	209.4	0.37	288.8	264.5	1.09	74.7	3.72	1.26
節無し縦切断藁	40.1	108.2	0.37	152.6	140.0	1.09	75.1	3.81	1.29
節端藁	125.1	368.1	0.34	505.6	466.4	1.08	76.7	4.04	1.27
節端縦切断藁	67.7	199.1	0.34	266.8	245.6	1.09	76.0	3.94	1.23
節2個藁	151.7	440.3	0.34	598.7	551.2	1.09	76.2	3.95	1.25

*は(完全吸水後の質量)/(風乾時の質量)，**は(完全吸水後の体積)/(風乾時の体積)

（２）吸水試験後の麦藁の体積，実比重および水分と沈下率の関係

麦藁の真比重を1.5とし，式（3-17）から式（3-20）を用いて吸水試験後の麦藁の実比重，水分を計算した。その結果，吸水試験後に縦切断した麦藁の実比重と沈下率の関係は図3-7に示すとおりで，麦藁の実比重が0.85以下の場合は沈下率はほぼ0%で，沈下率が100%付近では実比重は約1.0～1.12であった。

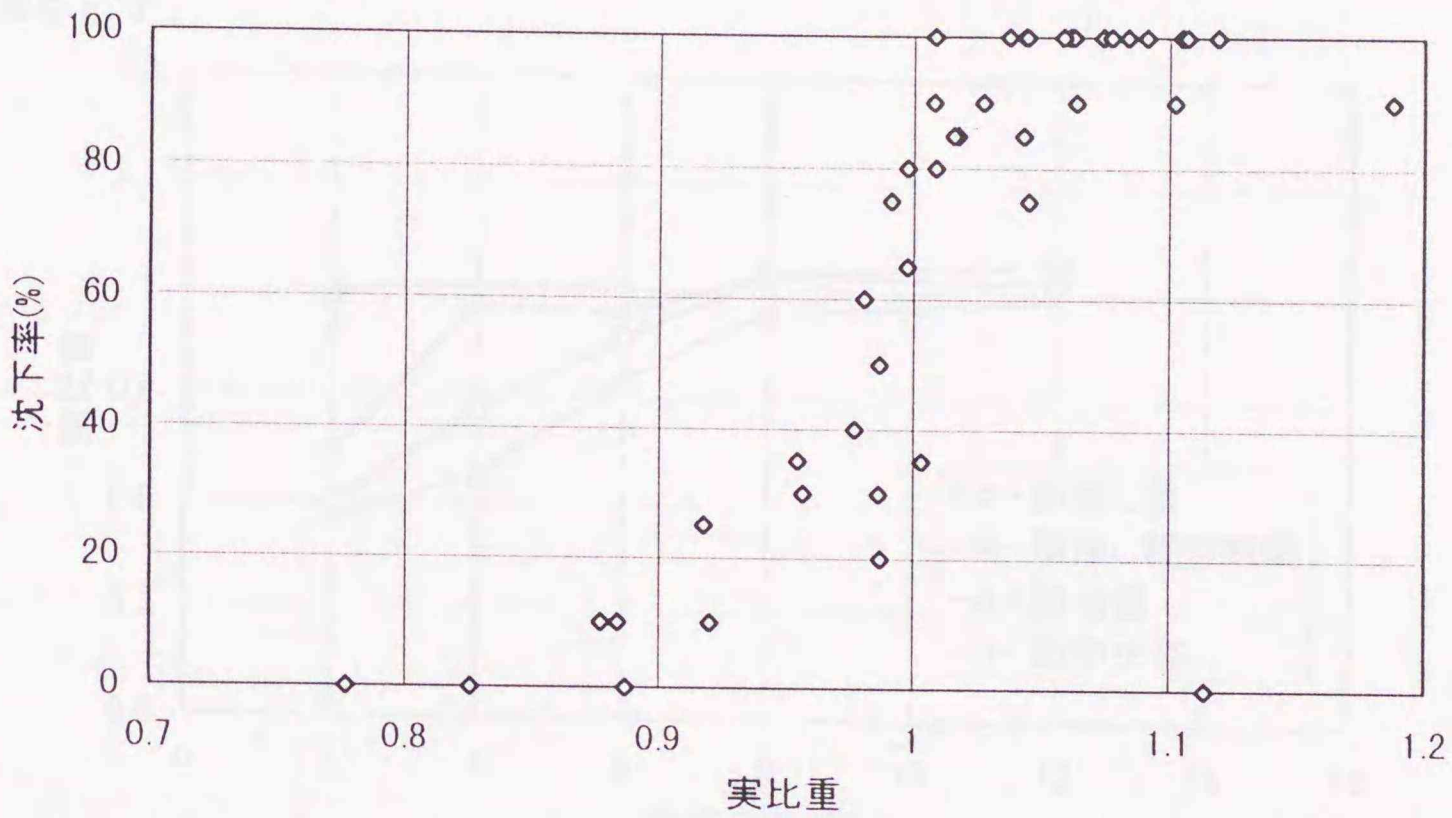


図3-7　吸水試験後縦切断した麦藁の実比重と沈下率の関係

吸水試験後に縦切断した麦藁の水分と沈下率の関係は図3-8に示すとおりで，

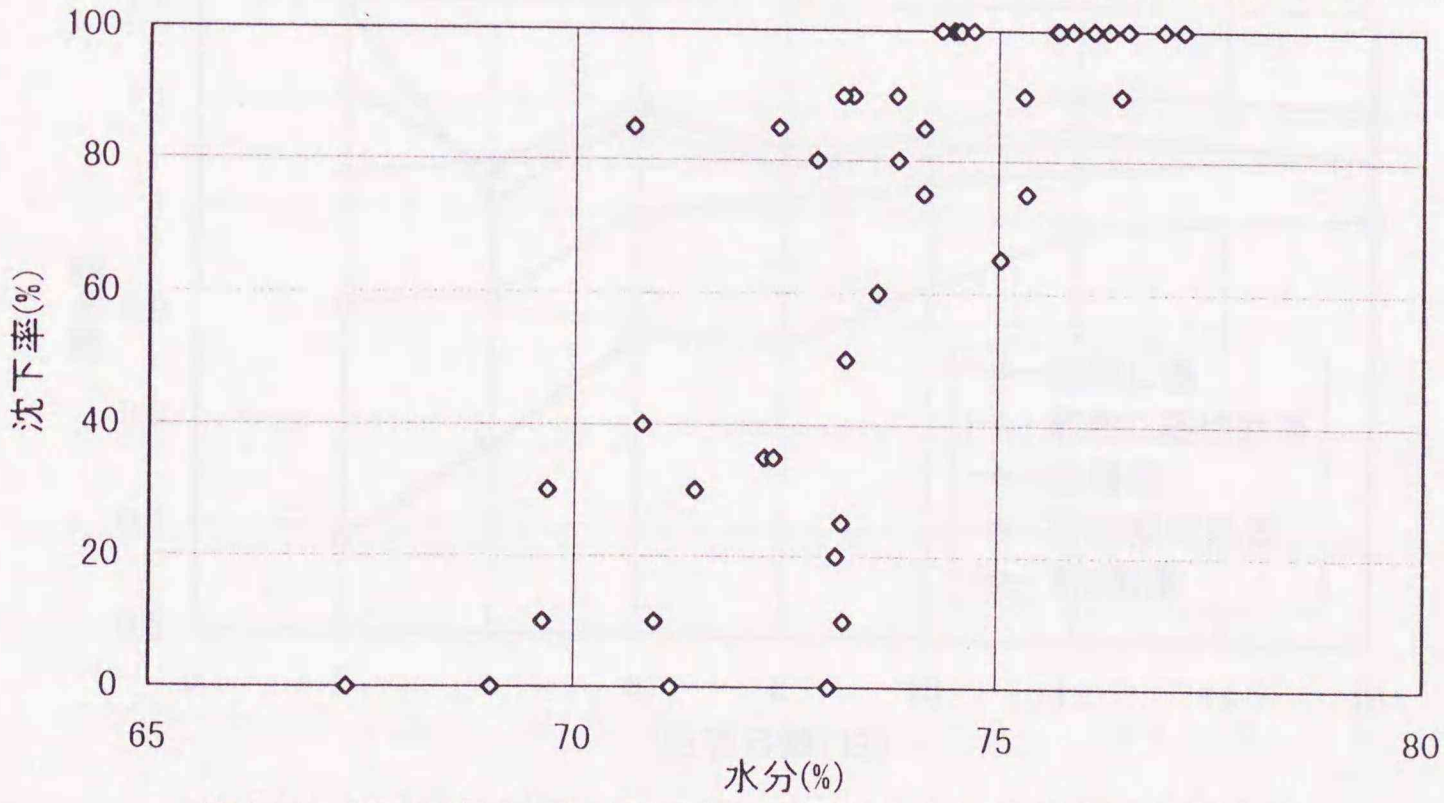


図3-8　吸水試験後縦切断した麦藁の水分と沈下率の関係

水分が70%以下では沈下率は30%以下で，水分が75%以上になると沈下率も70%以上となった。しかし，水分が70～75%の範囲では沈下率は大きく変動した。

（３）麦藁の実比重および水分と処理日数の関係

図3-9に試験3-1の，図3-10に試験3-2の処理日数と麦藁の実比重の関係を示す。また，図3-11に試験3-1の，図3-12に試験3-2の処理日数と麦藁の水分の関係を示す。

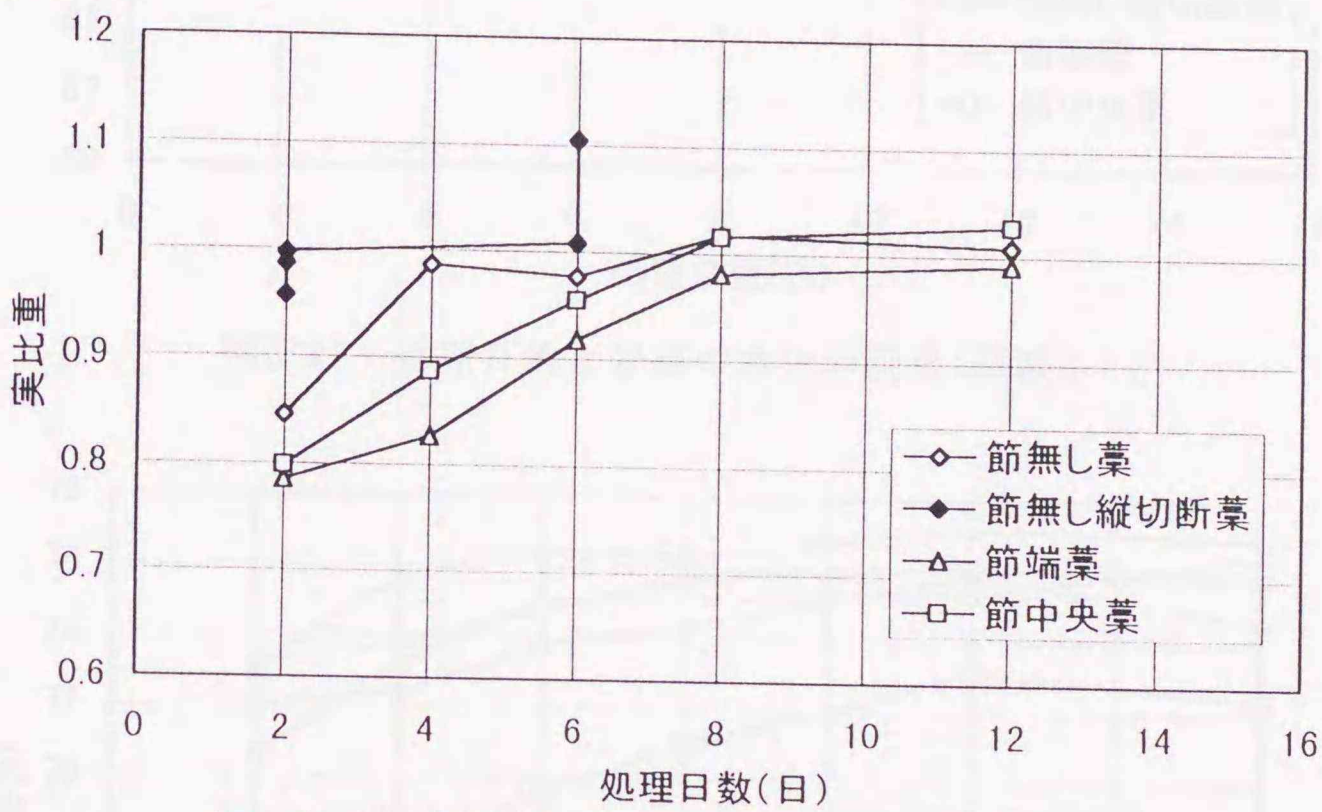


図3-9　処理日数と麦藁の実比重の関係(試験3-1)

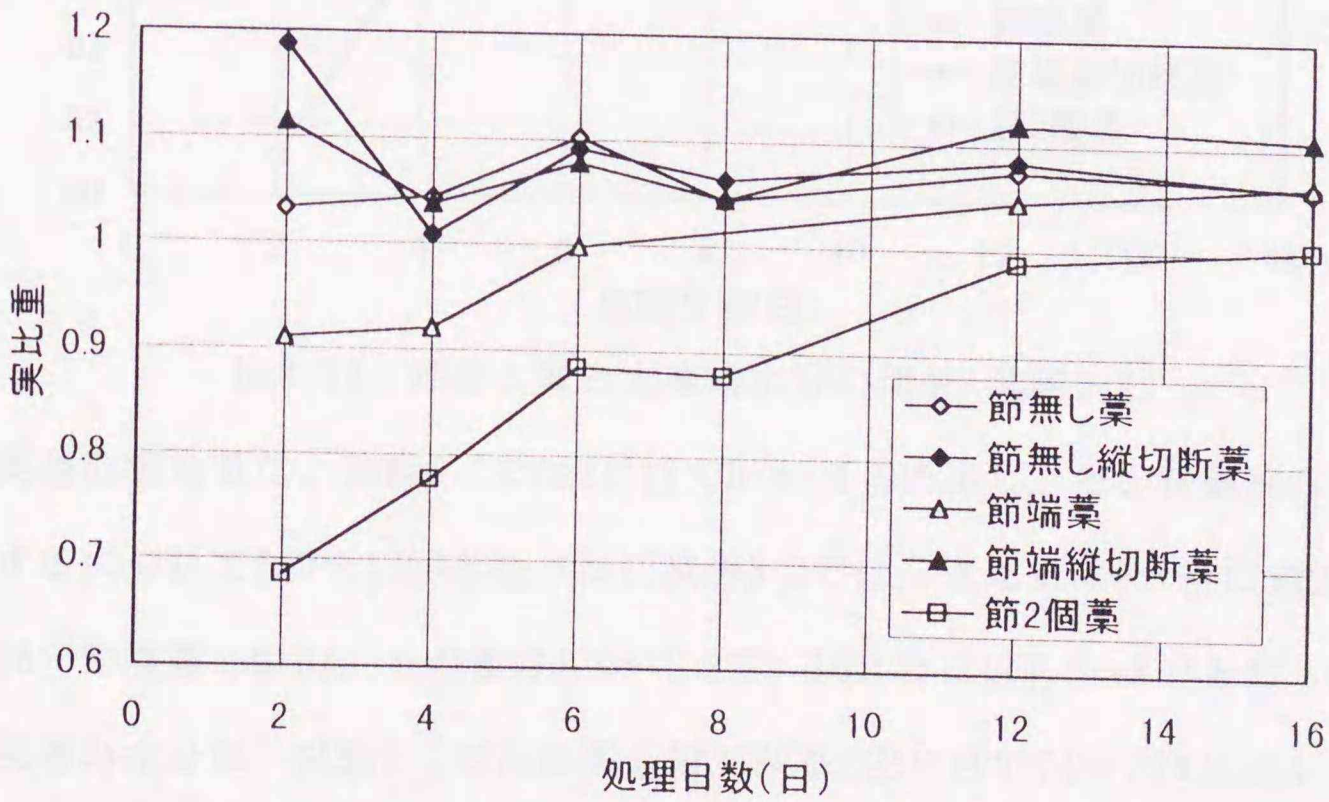


図3-10　処理日数と麦藁の実比重の関係(試験3-2)

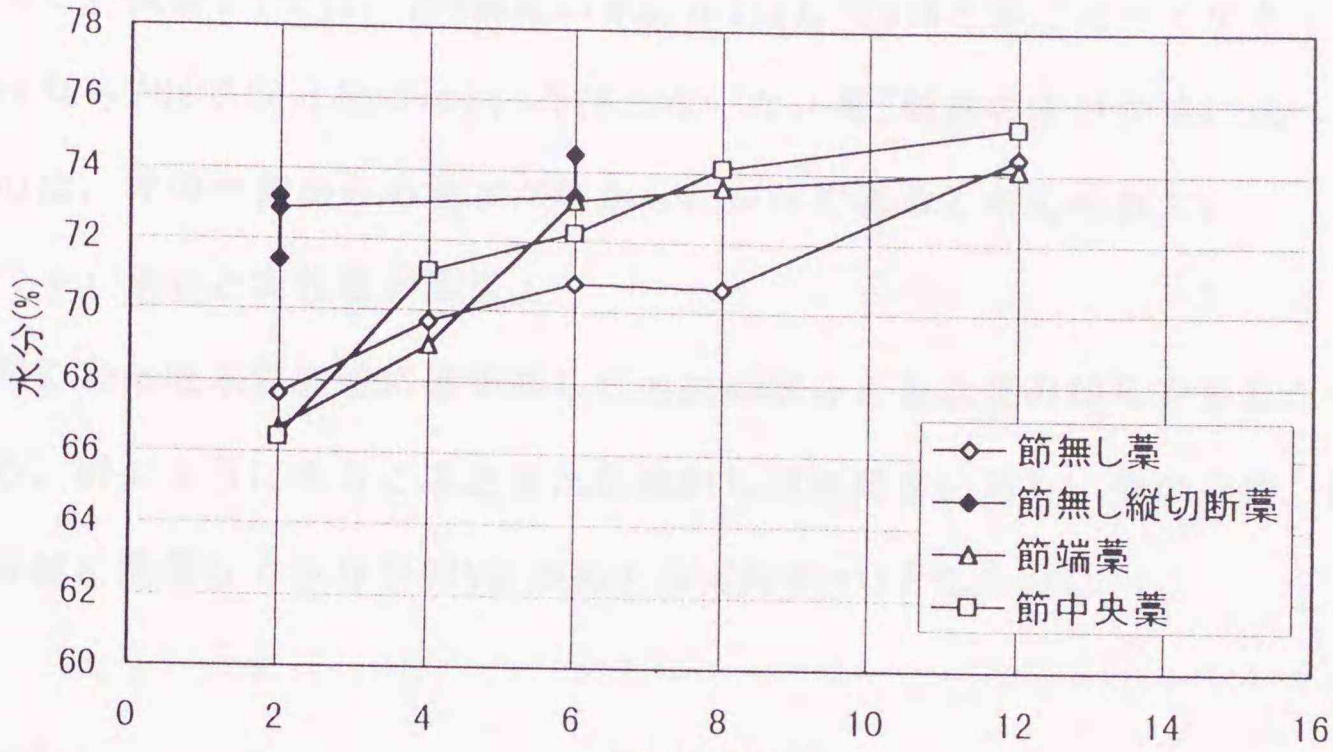


図3-11　処理日数と麦藁の水分の関係(試験3-1)

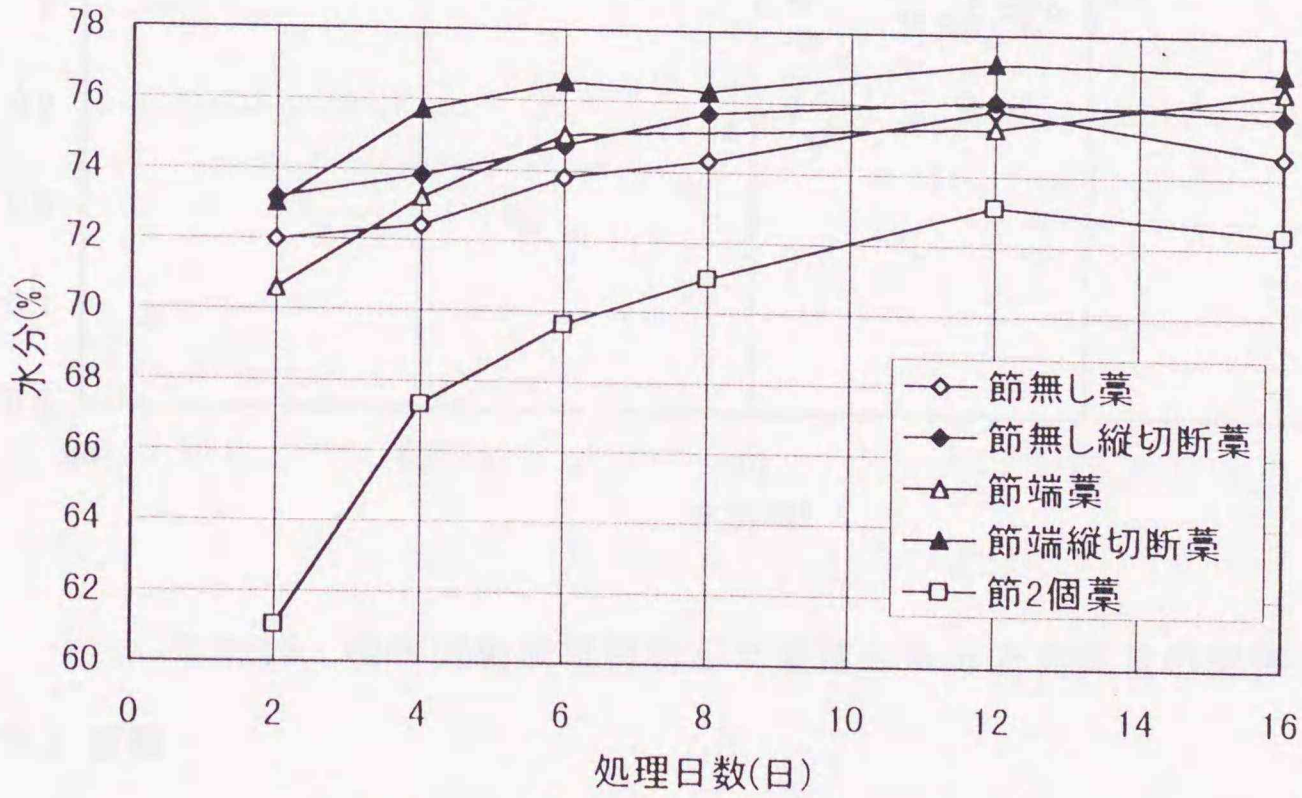


図3-12　処理日数と麦藁の水分の関係(試験3-2)

麦藁の実比重は，試験3-1では2日目で0.8～1.0に達し，その後処理日数が経過するにつれて1.0～1.03となった。試験3-2では，実比重は2日目に節2個藁で0.68，節端藁で0.91，その他は1.0～1.2で，16日目には1.0～1.1となった。

麦藁の水分は，試験3-1では節無し縦切断藁が2日目で71～73%に達し，その他は66～68%で，その後日数が経過するにつれて大きくなり12日目で74～75%と

なった。試験3-2では，節2個藁の水分が2日目で61%と他に比べて小さく，その他は70～73%で16日目には74～77%となった。節2個藁の水分が他に比べて小さいのは，稈の内側からの吸水が無かったからであると考えられた。

（4）水分と実比重の関係

図3-13は吸水試験後に縦切断した麦藁の水分と実比重の関係を示したものである。図のように水分と実比重は直線的な回帰関係にあり，節の有無，縦切断の有無に関係なく水分が72%前後のとき実比重が1となった。

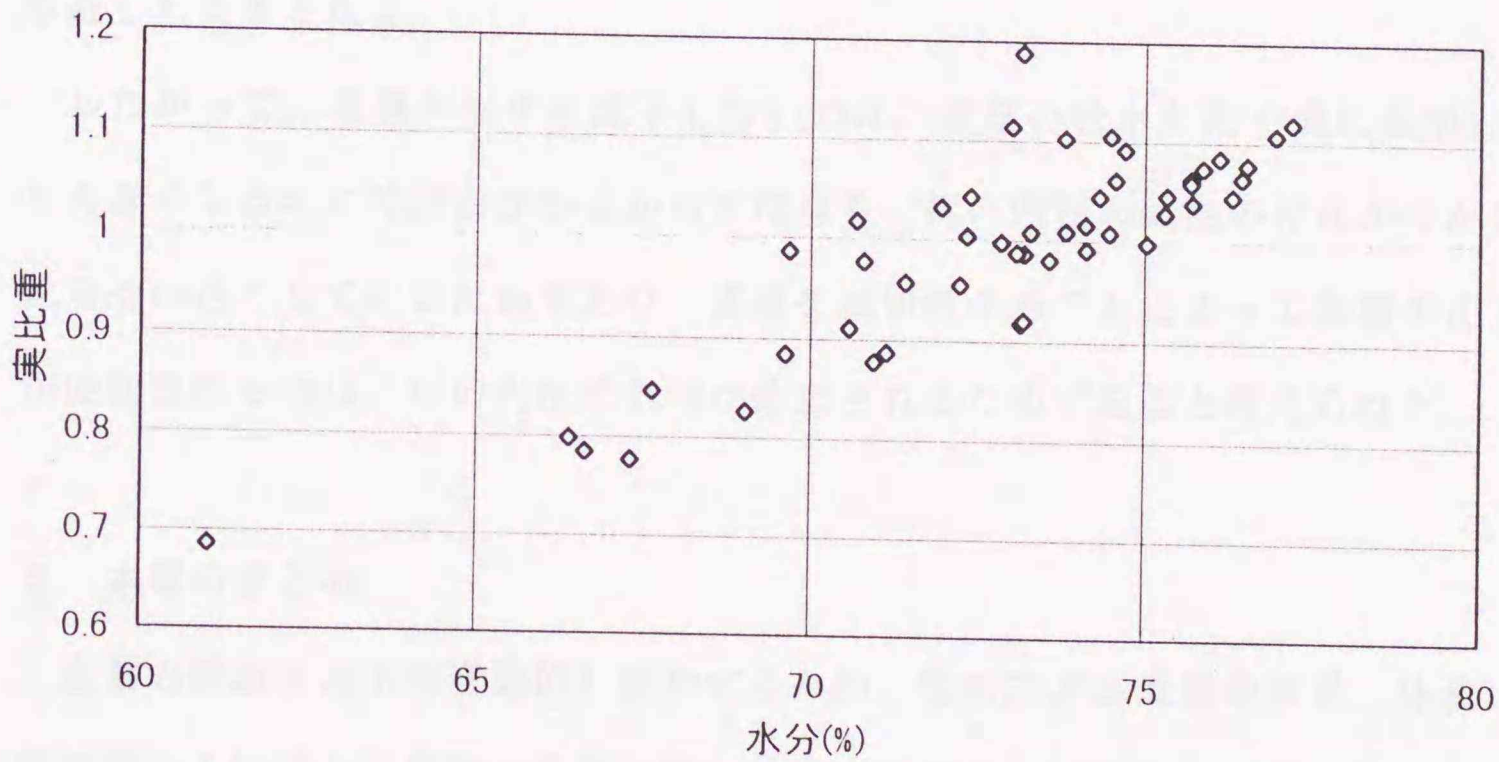


図3-13　吸水試験後縦切断した麦藁の水分と実比重の関係

5）考察

実比重および水分の増加を全体としてみると，風乾時の実比重が0.34～0.37，水分が6%であることから，実比重・水分ともに最初の2日間で急激に増加し，2日目の実比重は節2個藁を除いてほぼ0.8以上となっている（図3-9～図3-12）。

一方，吸水試験後に縦切断した麦藁の沈下率は，試験2の縦切断藁および節無し藁の沈下率が，実比重の増加に対応するように4日目に80～100%になっているが，その他の麦藁の沈下率は試験1で0～50%，試験2で0～10%でほとんど沈

下していない（表3-5～表3-6）。

このように，実比重が1に近いにもかかわらず沈下率が小さいのは，麦藁の浮遊と沈下の分岐点が，実比重で1，水分で72%前後であるにもかかわらず（図3-7，図3-8，図3-13），その分岐点付近の実比重や水分の増加程度が非常に緩慢であるからであると考えられ，その理由として稈の内部の気泡の存在が挙げられる。

また，節端藁や節中央藁および節2個藁のように，稈の内部に気泡を保持しやすい形状の麦藁は，実比重が1を超えてもみかけ比重は1より小さく水面上に浮遊したままとなる。

したがって，麦藁が水中に沈下しないのは，麦藁の吸水が遅く実比重が1より大きくなるのに時間がかかるからではなく，稈の内部の気泡の存在がみかけ比重を小さくしているためであり，麦藁を縦切断することによって麦藁の沈下が促進されるのは，稈の内部の気泡が除去されるためであると考えられた。

5　本章のまとめ

麦藁の浮遊と沈下を理論的に解析するため，吸水による麦藁の質量，体積，実比重および水分の増加と処理日数，沈下率の関係を調査し，以下のことを明らかにした。

1）麦藁の形状のモデル化を行い，麦藁の寸法（長さ，外径，厚さ）から麦藁の体積および実比重を計算した。その結果，風乾時（水分6%）の麦藁の実比重は節無し藁で0.37，節有り藁で0.34～0.35であった。また，風乾時の質量に対する完全吸水後の質量は，節無し藁で3.68～3.81倍，節有り藁で3.94～4.05倍であった。

2）沈下率を調査した麦藁を縦切断し，再び沈下率を調査したところ，全ての形状の麦藁で沈下率が増加した。したがって，実比重が水より重く本来沈下すべき麦藁も稈の内側の気泡により浮遊していると考えられた。

3）麦藁の真比重を木材の真比重と同じ1.5と仮定して，完全吸水後の麦藁の体積，実比重，水分を計算したところ，実比重は1.08～1.09，水分は74.4～76.8%で，風乾時の体積に対する完全吸水後の体積増加比は1.25～1.29倍となった。

4）吸水試験後の麦藁の実比重と沈下率の関係は，実比重が0.85以下の場合は沈下率は0%で，実比重が1前後では沈下率は30～70%と幅があり，沈下率が100%付近では実比重は1.0～1.12であった。麦藁の水分と沈下率の関係は，水分が70%以下では沈下率は30%以下で，水分が75%以上になると沈下率も70%以上となった。しかし，水分が70～75%の範囲では沈下率は大きく変動した。

5）麦藁の実比重は，節2個藁以外は吸水開始後2日目で0.8以上となった。水分は2日目で60%以上となり，稈の内部の気泡を抜いて強制的に水中に沈めた麦藁の方が実比重および水分ともに大きかった。

6）麦藁が水中に沈下しないのは，麦藁の吸水が遅く実比重が1より大きくなるのに時間がかかるからではなく，稈の内部の気泡の存在がみかけ比重を小さくしているためであり，麦藁を縦切断することによって麦藁の沈下が促進されるのは，稈の内部の気泡が除去されるためであると考えられた。

第Ⅳ章　麦藁縦切断装置の開発

1　本章の目的

本章では，第Ⅱ，第Ⅲ章の結果に基づき，麦藁の沈下を促進するため，コンバインに取り付けることのできる麦藁縦切断装置の開発を行った。

コンバインにおいて麦藁を縦切断処理することを考えた場合，その方法は別として，コンバインの構造を大きく変更しない限り麦藁を縦切断処理するための空間的な余裕はほとんどない。縦切断するための装置を取り付ける場所としては，排藁カッタの前後あるいはカッタ自身に縦切断の機能を組み込むことになる。また，縦切断装置の実用化を考えた場合，あまりに大がかりで高価なものでは実用性に乏しくなる。

これらの事情を考慮して考案した麦藁縦切断装置は，原理もきわめて簡単で試作も容易であったため，それをコンバインのディスクカッタに組み込んで圃場試験に供することができた。

本章では，これらの試験結果について，麦藁の縦切断の原理，麦藁縦切断用定置試験装置の開発，コンバイン装着型麦藁縦切断装置１号機の開発の順に述べる。

2　麦藁の縦切断の原理

麦藁を縦切断するため，図4-1のような基本構造の装置を考案した。ロール1およびロール2は，円柱の外側に多数の溝を有する同一形状のロールであり，それらを近接して配置して，互いに異なる回転数で矢印の方向に回転している。

ある長さに切断された麦藁Mは，2本のロールの上部からロール中央に落と

し込まれるが，藁の長さとロール溝の関係から，ある程度斜めに落ち込んだ麦藁もそれぞれロール溝内に収まる。溝間に挟まった麦藁は，ロールの回転に従って対向するロールに接し始め，いずれかのタイミングで図4-1に示した向かい合うロールの溝間に位置する。しかし，両ロールの周速度差によって溝の幅が徐々に狭められるため，最後には図4-2のように，ロール1の溝の下部とロール2の溝の上部に挟まり，両ロールのエッジのハサミの作用によって縦切断される。これが，開発した麦藁縦切断装置の基本構造である。

まず最初に，この基本構造で藁が縦切断される条件を整理する。ロール1とロール2の外周円の半径をr(mm)，溝の深さをh(mm)，溝の幅をw(mm)，隣接する溝と溝の中心角度をθ(rad)，ロール間の隙間をc(mm)，ロール1の回転数をR_1(rpm)，ロール2の回転数をR_2(rpm)，麦藁Mの直径をd(mm)とする。ただし，$0<R_1<R_2$とする。

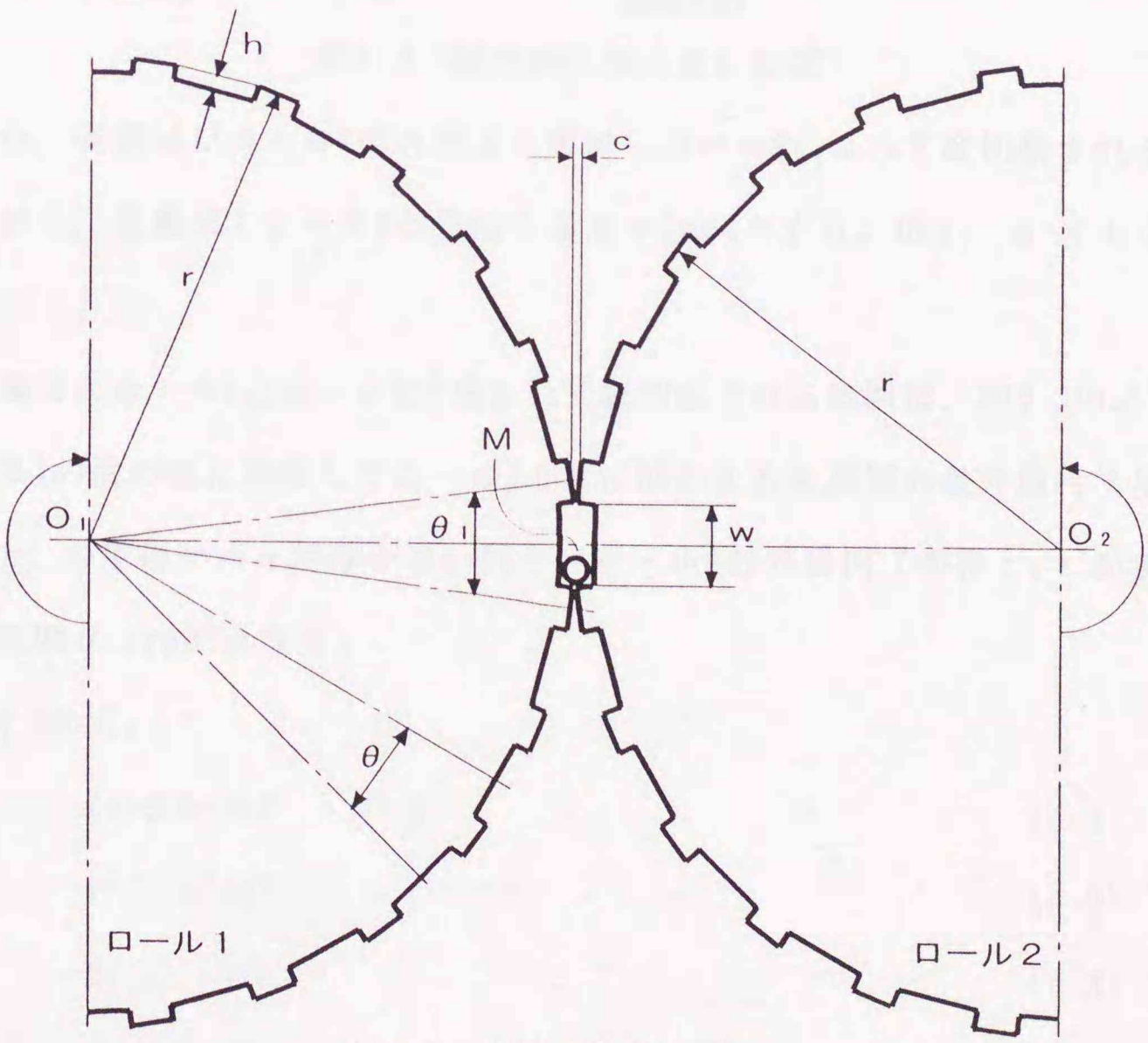


図4-1　麦藁縦切断の原理

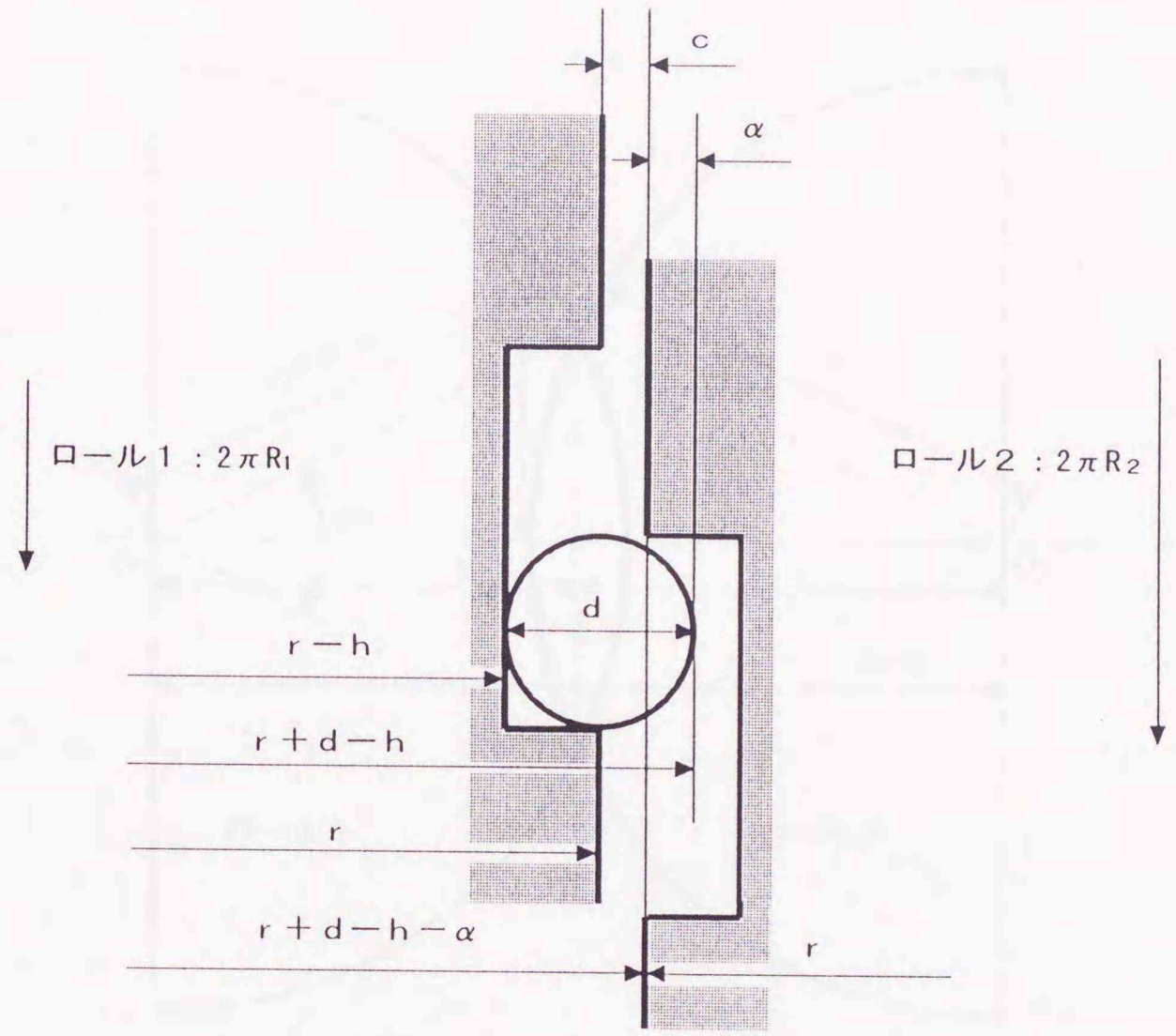


図4-2　縦切断直前の藁の位置

また，麦藁Mがロール1の外周より突出しロール2によって縦切断される量，すなわち，麦藁Mとロール2の重なり量をα(mm)とする。但し，α=d-h-cである。

麦藁Mがロール1とロール2に挟まれて縦切断される範囲は，図4-3のように，ロール1の溝の底に接触してロール1と共に回転する麦藁Mの最外周円（半径：r+d-h）の半径からαだけ小さい円と，ロール2の外周円（半径：r）が重なりあう範囲θ_1(rad)となる。

図4-3から，

$$(r+d-h-\alpha)^2 = x^2+y^2 \qquad (4-1)$$

$$r^2 = x^2+z^2 \qquad (4-2)$$

$$2r+c = y+z \qquad (4-3)$$

$$\cos(\theta_1/2) = y/(r+d-h-\alpha) \qquad (4-4)$$

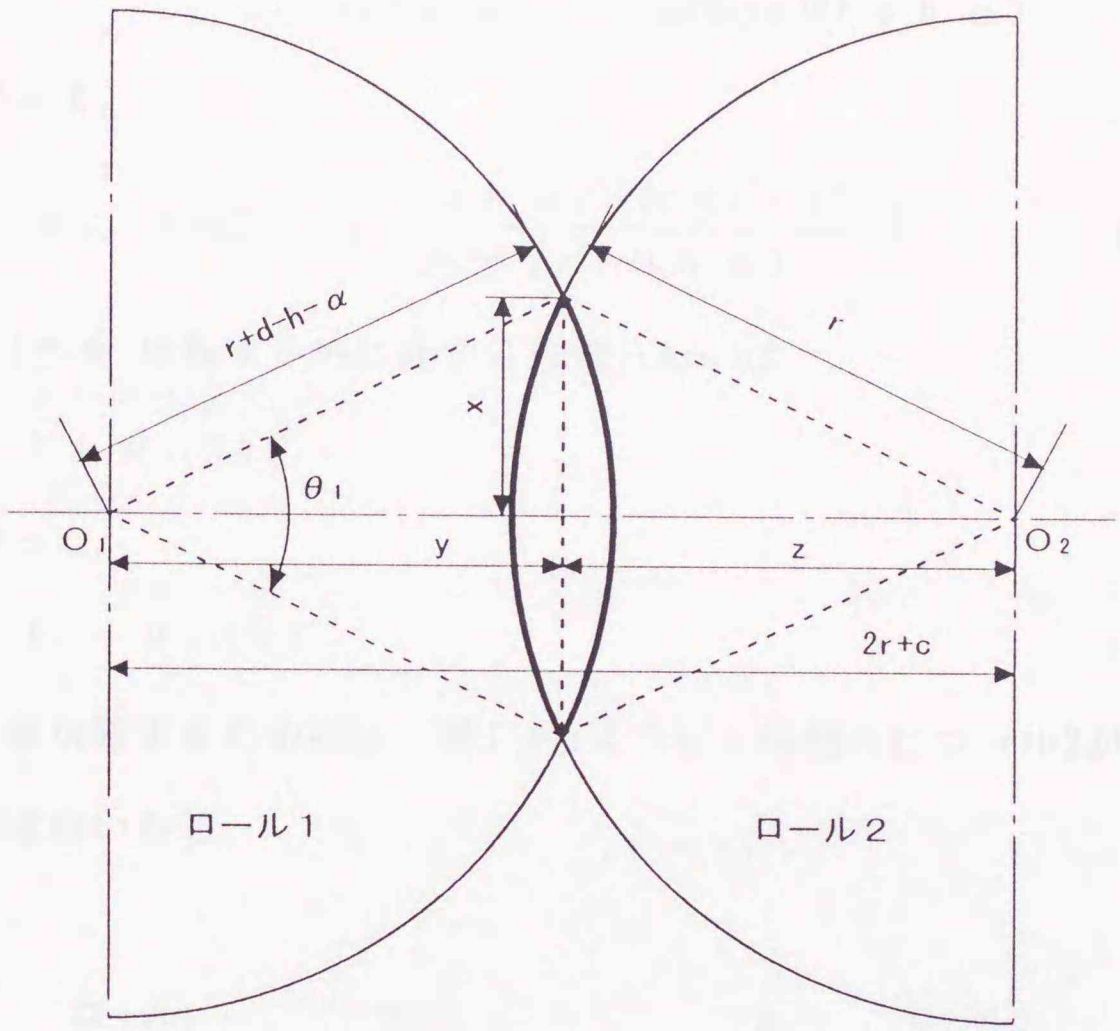


図4-3　麦藁が縦切断される範囲

式(4-1)と式(4-2)より，

$$(r+d-h-\alpha)^2-r^2 = y^2-z^2 \qquad (4-5)$$

式(4-3)より，

$$z = 2r+c-y = (2r+c)-y$$

したがって，

$$z^2 = (2r+c)^2-2y(2r+c)+y^2 \qquad (4-6)$$

式(4-5)と式(4-6)より，

$$(r+d-h-\alpha)^2+(2r+c)^2-r^2 = 2y(2r+c)$$

したがって，

$$y = \frac{(r+d-h-\alpha)^2+(2r+c)^2-r^2}{2(2r+c)} \qquad (4-7)$$

式(4-4)と式(4-7)より，

$$\cos(\theta_1/2) = \frac{y}{r+d-h-\alpha} = \frac{(r+d-h-\alpha)^2(2r+c)^2+-r^2}{2(2r+c)(r+d-h-\alpha)}$$

したがって，

$$\theta_1 = 2\cos^{-1}\left[\frac{(r+d-h-\alpha)^2(2r+c)^2+-r^2}{2(2r+c)(r+d-h-\alpha)}\right] \qquad (4-8)$$

ロール1がθ_1回転するのに要する時間t(min)は，

$$t = \theta_1/2\pi R_1$$

したがって，

$$R_1 = \theta_1/2\pi t \qquad (4-9)$$

麦藁を縦切断するためには，図4-4のようにt時間内にロール2が最低$\theta_1+\theta$回転すれば良いから，

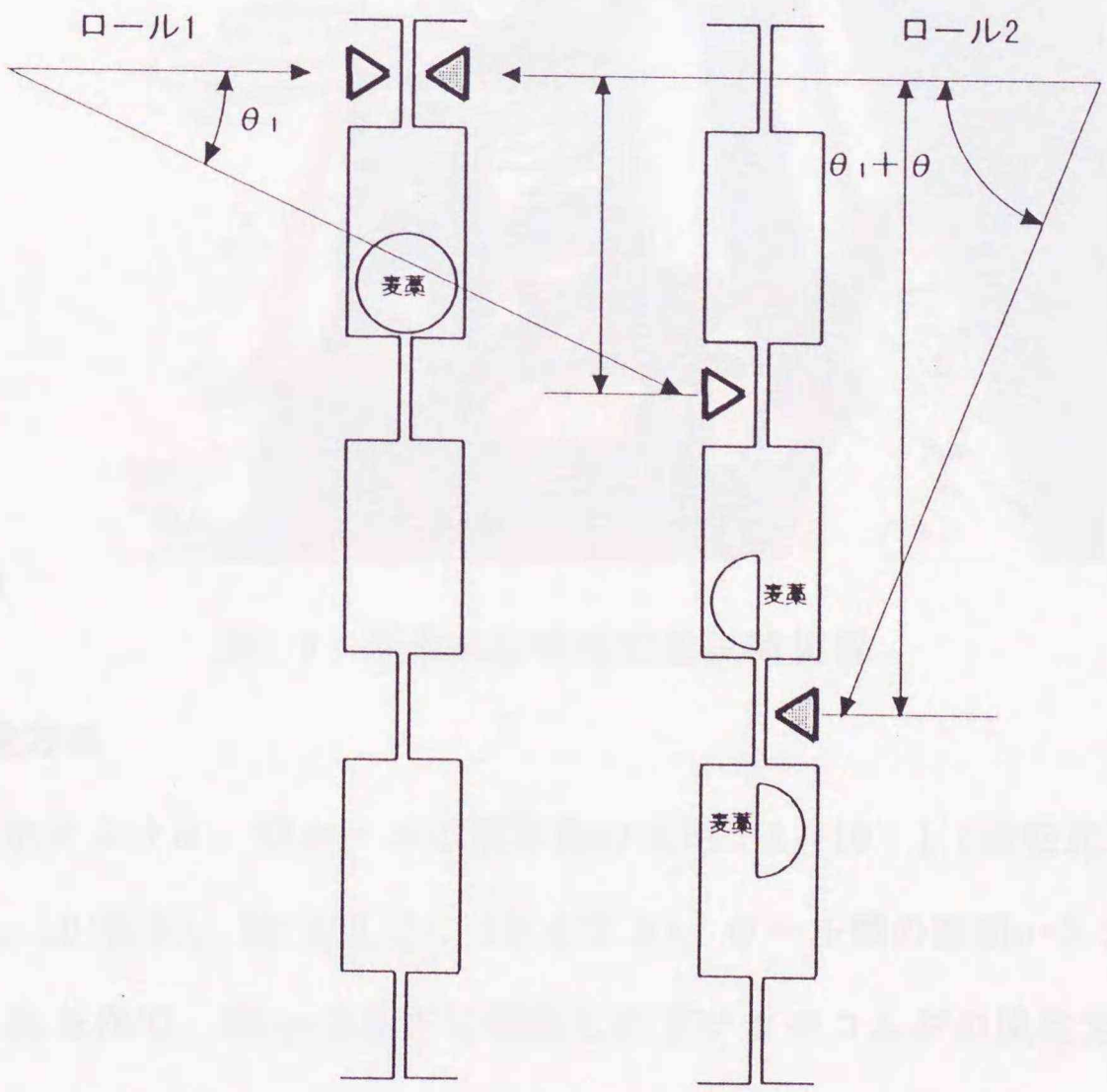


図4-4　ロール1とロール2の回転比（R_2/R_1）

$$R_2=(\theta_1+\theta)/2\pi t \qquad (4\text{-}10)$$

式(4-9)と式(4-10)より，両ロールの回転比R_2/R_1は，

$$R_2/R_1=1+\theta/\theta_1 \qquad (4\text{-}11)$$

となる。

3　麦藁縦切断用定置試験装置の開発

図4-5に麦藁縦切断装置を示す。これは，長さ390mmの塩化ビニル製円筒を材料とし，半径r=57mm，溝の深さh=2mm，溝の幅w=8mm，隣接する溝と溝の中心角度$\theta=\pi/12$rad(15度)，とした定置試験装置である。



図4-5　麦藁縦切断用定置試験装置

1）試験方法

表4-1に示すように，両ロールの回転数の比$R_2:R_1=10:1$（回転比$R_2/R_1=10$，以下同じ)，10:2(5)，10:3(3.3)，10:4(2.5)，ロール間の隙間c=0.5mmおよび1.0mmとした条件で，20cmの長さに切断したアサカゼコムギの風乾麦藁を20本ずつ縦切断刃の回転軸と平行に処理部に供給し，縦切断処理を行った。縦切断されているかどうかの判断は，外見より沈下率の高低で評価するのが妥当と考

え，処理した麦藁60本の沈下率を第Ⅱ章と同様の方法で調査した。

また，麦藁Mの直径d=4mmとし，αの値を0.4～1.4mmまで0.2mmおきに変化させた場合のθ_1と理論回転比を式(4-8)と(4-11)より試算して表4-2に示した。

表4-1　麦藁縦切断用定置試験装置の試験条件および回転比

ロールの回転比R_2/R_1		10	5	3.3	2.5
ロール間の隙間C(mm)	0.5	①	②	③	④
	1.0	⑤	⑥		

注1）①～⑥は試験区を示す
注2）高速軸の回転数は1000rpm

表4-2　麦藁縦切断用定置試験装置の理論回転比

		α(mm)	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4
ロール間の隙間C(mm)	0.5	θ_1(度)	15.6	14.1	12.5	10.6	8.23	4.76
		回転比(R_2/R_1)	1.96	2.06	2.20	2.42	2.82	4.15
	1.0	θ_1(度)	11.5	9.43	6.68	-	-	-
		回転比(R_2/R_1)	2.30	2.59	3.24	-	-	-

2）試験結果および考察

各処理区の麦藁の沈下率を図4-6に示す。本装置で処理した麦藁の処理後4日目の沈下率は，ロール間の隙間c=0.5mmの場合，回転比R_2/R_1=10で88.3%，回転比R_2/R_1=5で81.7%，回転比R_2/R_1=3.3で68.3%，回転比R_2/R_1=2.5で56.7%となり，回転比R_2/R_1が高いほど沈下率が高かった。また，回転比R_2/R_1が10と5では沈下率に大きな差がないと見られた。

ロール間の隙間c=1.0mmの場合の4日目の沈下率は，回転比R_2/R_1=10で58.3%，回転比R_2/R_1=5で65%で，ロール間の隙間c=0.5mmの場合に比べて沈下率は低かった。

図4-6には，麦藁の長さが本試験と同じ20cmの無処理藁の沈下率を，第Ⅱ章第３項の試験2-1より引用して示したが，本装置を用いて縦切断処理をした麦藁の沈下率は無処理の麦藁の沈下率に比較して極めて高く，本装置が麦藁を縦切断できたことを確認した。

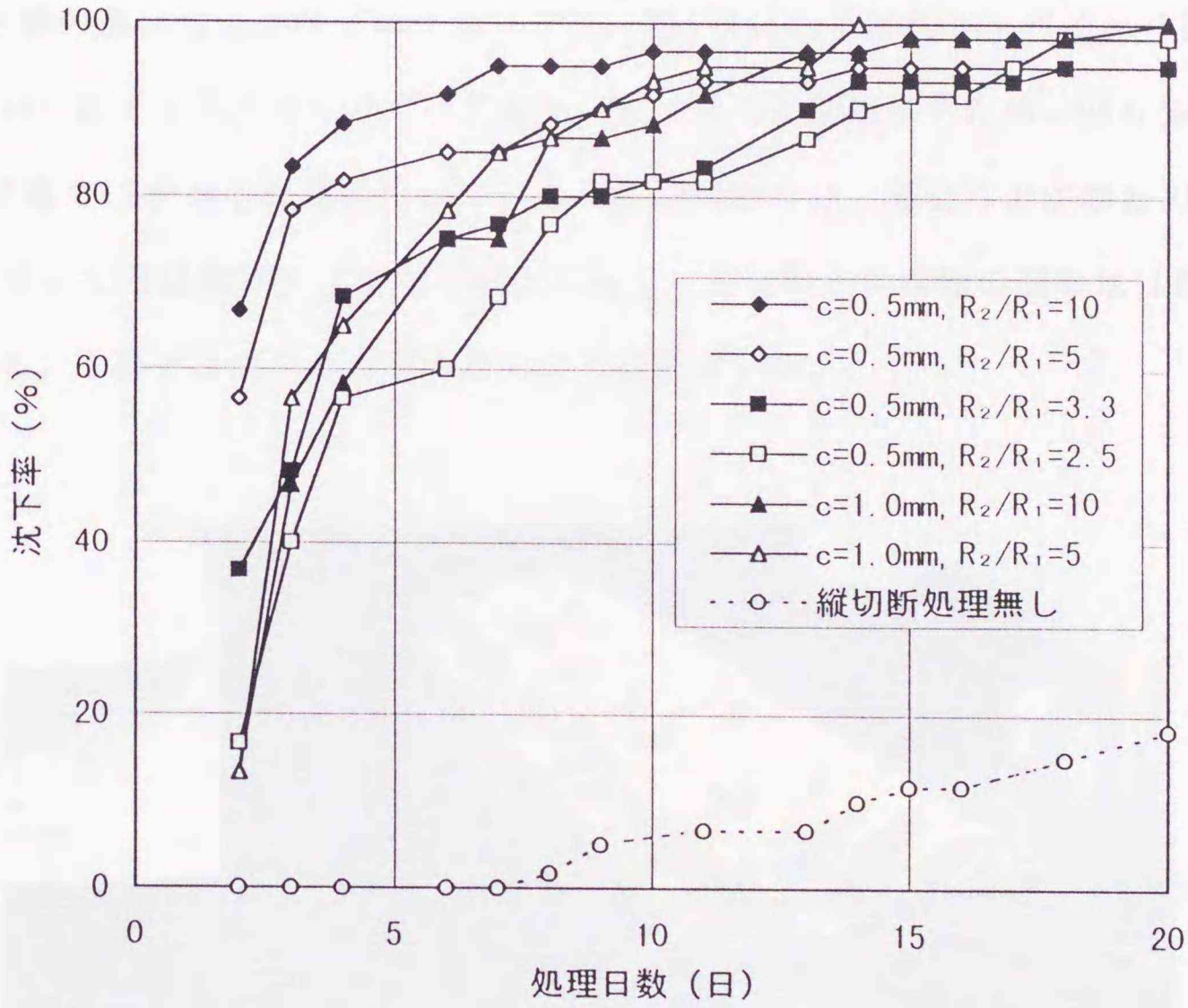


図4-6　麦藁縦切断装置によって縦切断された麦藁の沈下率

理論回転比はαが増加するにつれて大きくなり，ロール間の隙間c=0.5mmの場合は4.15以下で縦切断が可能なことが示された。しかし，ロール間の隙間c=1.0mmの場合，αが1.0以上では理論回転比R_2/R_1は無限大となり，理論的にも縦切断が困難なことが示されたことから，上記試験結果と理論値は概ね一致していると考えられた。

以上のことから，市販のディスクカッタに上記のような縦切断刃を組み込むだけで，麦藁の沈下が促進される見通しを得た。

4　コンバイン装着型麦藁縦切断装置1号機の開発

1）装置の構造

以上の結果に基づき，コンバイン装着型の麦藁縦切断装置1号機（以下1号機）を試作した。

1号機の基になったディスクカッタは，図4-7に示す市販コンバイン（I社製HD1300）のディスクカッタで，麦藁を一定の長さに切断するための回転刃が約5cm間隔で18枚高速軸側に付いており，低速軸側には，藁送り刃が回転刃に向かい合って18枚取り付けてある構造である。高速軸と低速軸の回転比は約5:1である。このディスクカッタを次のように改造した。

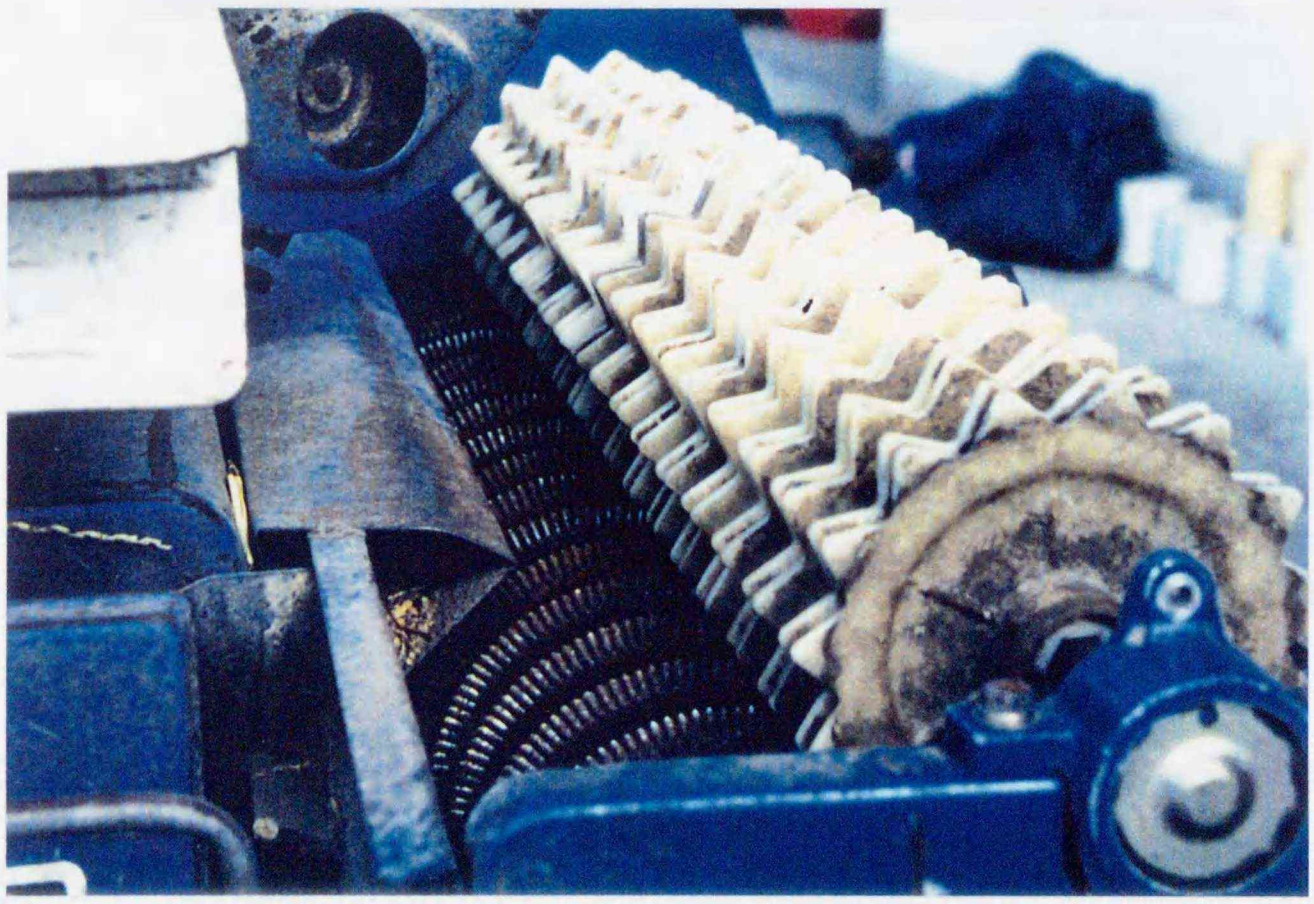


図4-7　改造前のディスクカッタ

①回転刃および藁送り刃を一つおきに取り外し，図4-8に示すような試作のロール状縦切断刃を組み込んだ。縦切断刃は半径r=70mmの鋼管を主な材料とし，幅65～72mm，横溝の数30，横溝の幅w=8mm，溝の深さh=2mmに加工した。また，麦藁がディスクカッタの軸に平行に供給されなくても縦切断できるように，横

溝に垂直に幅10mm，深さ2mmの縦溝を4本設けた。この結果，回転刃間の距離（麦藁の設定切断長）は90mmとなった。



図4-8　1号機に用いたロール状縦切断刃

②低速軸の縦切断刃と高速軸の縦切断刃の隙間c=0.5mmになるよう，低速軸を支える軸受けを移動調整した。

③縦切断刃どうしの接触防止と間隙の定距離保持を兼ねて，両軸の中央をボールベアリングを介した鋼板で固定した。

試作した1号機の構造を図4-9に，1号機の外観を図4-10に，1号機を搭載したコンバインの後部全体図を図4-11に示す。

1号機の理論回転比R_2/R_1は表4-3に示すとおりで，麦藁縦切断用定置試験装置に比較してやや小さくなった。これは，ロールの半径rが大きくなっていること，またそのために溝と溝の中心角度θを小さくすることができたことによる。

表4-3　1号機の理論回転比

			α(mm)	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4
ロール間の隙間C(mm)	0.5	θ_1(度)		14.1	12.8	11.3	9.58	7.44	4.30
		回転比(R_2/R_1)		1.85	1.94	2.06	2.25	2.61	3.79
	1.0	θ_1(度)		10.4	8.54	6.05	-	-	-
		回転比(R_2/R_1)		2.15	2.41	2.98	-	-	-

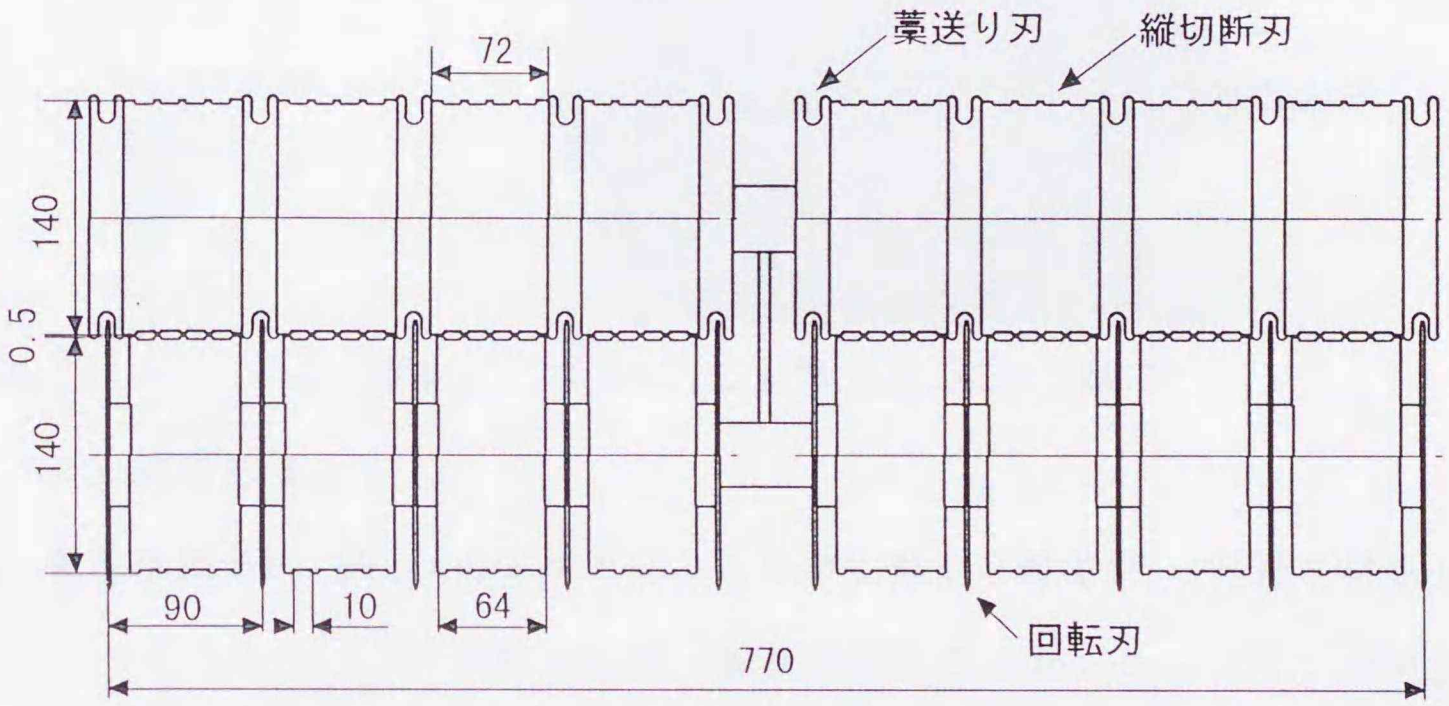


図4-9　1号機の構造



図4-10　1号機の外観（藁処理部）

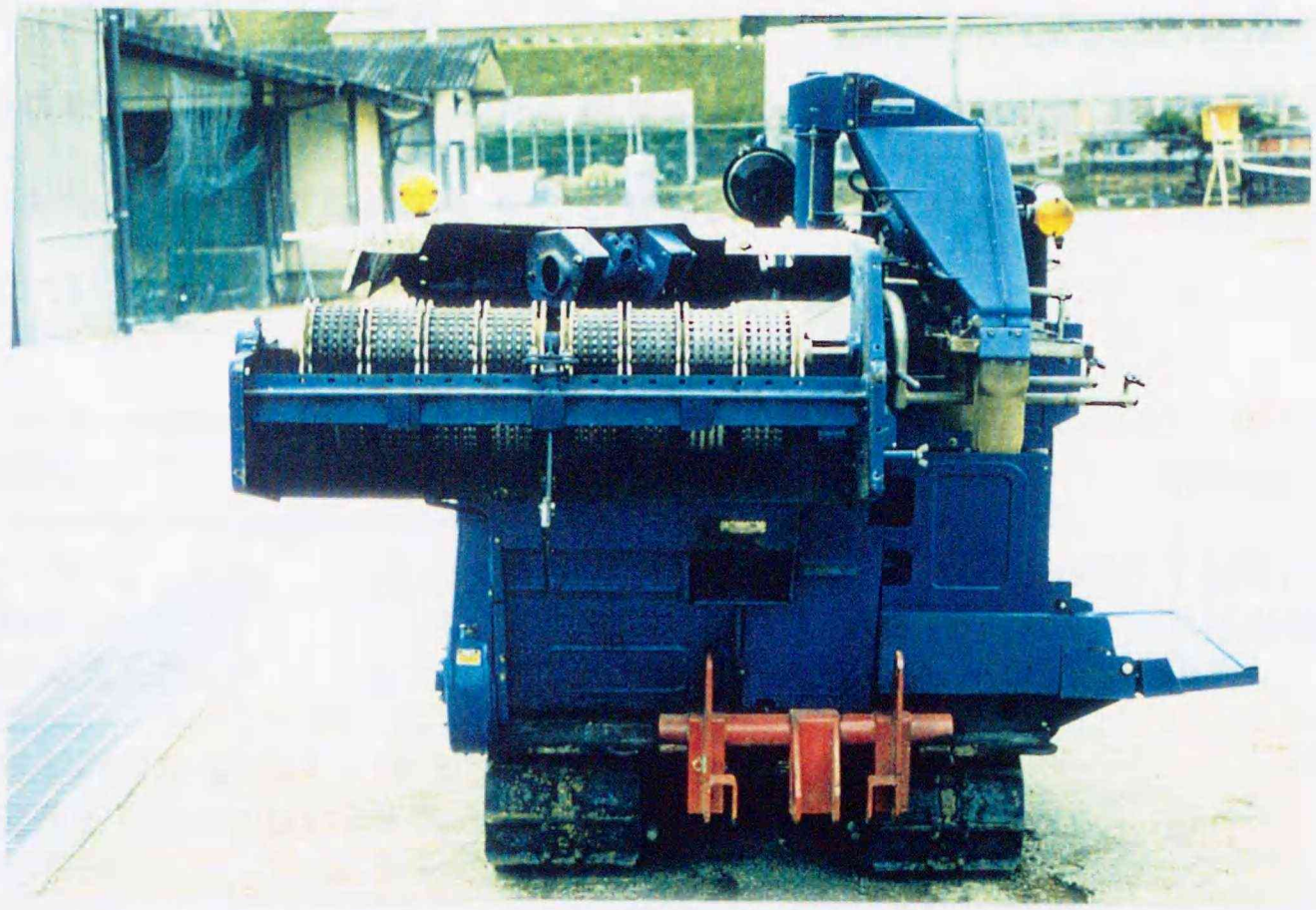


図4-11　コンバインに取り付けた1号機

２）試験方法

風乾麦藁量65.5kg/aのアサカゼコムギが生育する圃場で，1号機を搭載したコンバインを用い，麦収穫・脱穀・麦藁処理を行った。コンバインの速度は0.24m/s，刈り取り条数は3条，カッタの高速軸の回転数は1120rpm，高速軸と低速軸の回転比R_2/R_1=4.5とした。

処理された麦藁の浮遊率を調査するため，試験後圃場を耕うん・湛水・代かきし，その後に6～8cmの深水湛水を行って風により畦畔ぎわに集積した浮遊藁を全量回収し，乾燥して質量を測定した。また，表4-4に示すように，ディスクカッタの種類や耕深の異なる対照区を設けて，各区の浮遊麦藁を処理区と同様に収集・乾燥し質量を測定した。

対照区1と2では，市販コンバインのディスクカッタを供試して，藁の切断方法と耕深の違いによる浮遊藁率の差を検討した。対照区3では，こぎ胴の中に穀粒と藁が全量入る軸流型の汎用コンバイン（特例として「汎用」を用いる）を供試して検討した。

3）試験結果および考察

藁処理作業はディスクカッタの両軸を定距離に固定保持する連結部での麦藁の一部停滞を除いて順調であり，本装置が連続作業ができることを確認した。

表4-4　1号機の試験条件および結果

試験区	処理区	対照区1	対照区2	対照区3
コンバイン	I社製HD1300	Y社製TC3500	Y社製TC3500	Y社製CA600
藁処理部	1号機	本機内蔵	本機内蔵	本機内蔵
試験圃場面積(a)	5	10	10	10
耕深(cm)	12	12	23	12
麦藁平均切断長(cm)	16.1	11.9	11.9	—
浮遊藁質量(kg/10a)	3.2	20.5	6.8	13.2
浮遊率(%)	0.5	3.2	1.2	2.2
上記比率	16	100	38	69

注）試験は1987年度に実施，麦収穫6月8日～9日，耕うん6月13日～15日（レーキ付アップカットロータリ使用），代かき6月22日～23日（ロータリハロー使用）代かき水深は標準，浮遊藁採取6月24日

また，麦藁の浮遊率は，表4-4に示すように，1号機で処理した麦藁の浮遊率が0.5%，市販のディスクカッタを供試した対照区1（標準対照区）の浮遊率が3.2%，対照区2（深耕区）の浮遊率が1.2%，対照区3（汎用コンバインで麦を収穫・藁処理した区）の浮遊率が2.2%であった。

この結果，1号機によって処理された麦藁の浮遊率は標準対照区の浮遊率の16%で，1号機は麦藁を縦切断したために麦藁の浮遊率を減少することができたと考えられた。

なお，1号機では，麦藁Mの直径d=4mmと仮定し，式より求めた回転比R_2/R_1と溝の深さhを用いて装置の寸法を決定した。図4-12に，ロール間の隙間c=0.5mm，α=1mmとし，これらの式を用いて算出した麦藁の直径dと溝の深さhならびにその麦藁を縦切断するための理論回転比R_2/R_1を図示したが，この図から考えると，溝の深さh=2mmでは回転比R_2/R_1をいくら高くしても直径d=3.5mm以下

の麦藁を縦切断することはできない。しかし，溝の深さh=1.5mmでは直径d=3.5mm程度の麦藁は縦切断することができる。

したがって，溝の深さについては，今一度多数品種の麦藁の直径を調査してから一般的な値を導き出した方が良いと考えられる。

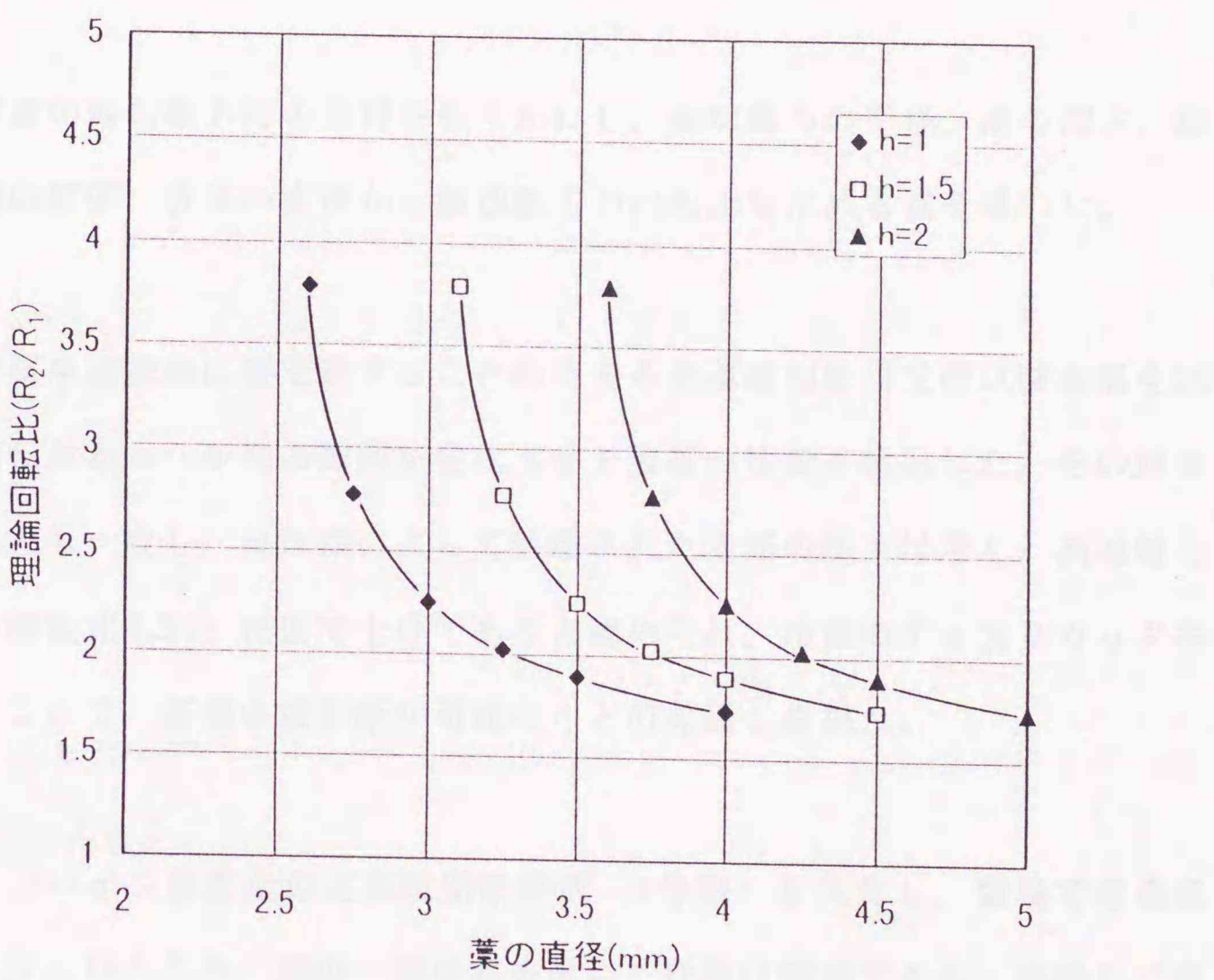


図4-12　藁の直径と理論回転比の関係

また，1号機では，高速軸側の縦切断刃と低速軸側の縦切断刃の隙間c=0.5mmとしたが，回転軸の歪やたわみにより，麦藁が供給されれば隙間が広がり縦切断性能が低下すると考えられるし，供給されない場合は縦切断刃どうしが直接接触する可能性が高い。したがって，縦切断刃どうしが接触しないような縦切断装置の構造や縦切断刃の形状を検討する必要があると考えられる。

5　本章のまとめ

麦藁の縦切断方法の原理を明らかにし，麦藁を連続的に縦切断する装置を試作して性能を検討した。また，コンバイン排藁カッタにおいて，麦藁を一定の長さに切断（横切断）すると同時に，麦藁を縦切断する装置を試作し，圃場において性能を検討した。

1）麦藁の縦切断方法の原理を明らかにし，縦切断刃の半径，溝の深さ，縦切断刃間の隙間，麦藁の直径から縦切断刃の回転比を求める式を導いた。

2）麦藁を連続的に縦切断することのできる麦藁縦切断用定置試験装置を試作し，回転比とロール間の隙間を変化させて装置の性能を検討した。その結果は理論値とも一致し，試作機によって処理された麦藁の沈下は速く，高速軸と低速軸の回転比も5:1 程度で十分であると認められ，市販のディスクカッタを改造することで，麦藁の縦切断が可能なことの見通しを得た。

3）コンバイン装着型の麦藁縦切断装置（1号機）を試作し，圃場で麦藁処理試験を行ったところ，藁の一部停滞を除いて作業は順調であり，連続して麦藁縦切断作業ができることを確認した。また，1号機によって処理した麦藁の耕うん・代かき後の麦藁の浮遊率は0.5%であり，1号機の性能は極めて高いと判断された。

第V章　コンバイン装着型麦稈縦切断装置の開発

1　本章の目的

第IV章で述べたコンバイン装着型麦稈縦切断装置1号機は良好な性能を示したが，その構造および細部の寸法については検討の余地が残されている。

本章では，麦稈縦切断装置の実用化に向けて，溝の深さ，形状，構造の異なる麦稈縦切断装置2～4号機の開発と性能試験を行った結果について述べる。

更に，縦切断刃の溝の深さを再検討して，麦稈縦切断装置5～6号機を開発して性能試験を行った結果について述べるとともに，麦稈縦切断装置の動力負荷特性を調査した結果について述べる。

これらの装置の開発と性能試験は，1号機の性能試験と比較するため同一圃場を用いて行う必要があり，また，成熟期に達した麦類の立毛する圃場が必要なこと，装置の試作に多大な時間を必要とすることから，1号機の性能試験を含めて合計4年間を必要とした。

2　コンバイン装着型麦稈縦切断装置2号機の開発

1）装置の構造

1号機の性能は良好であったが，1号機に用いたロール状の縦切断刃は工作工程数が多く，加工に多くの時間が必要であった。

そこで，工作の容易さを考慮するとともに縦切断性能の向上を目的として，板状の縦切断刃を試作することを中心に装置の改良方針を定め，表5-1および図5-1のような寸法・諸元でコンバイン装着型麦稈縦切断装置2号機（以下2号機）を試作した。板状縦切断刃は鋼板を材料とし，旋盤で円形に加工した後フ

ライス盤で横溝を成形した。

縦切断刃の溝の深さは麦藁の下位部が通過する部分を2mmとし，上位部が通過する部分に向かって1.5mm，1mmと浅くした。すなわち，縦切断装置の中央から左側の溝の深さを2mm，右側の左半分を1.5mm，右側の右半分を1mmとした。

2号機から5号機までは図5-2に示すフレームを利用し，回転軸，回転刃および縦切断刃を交換する構造とした。2～5号機までの回転軸には市販の排藁カッタに使用されている対辺21mmの六角鋼を用いた。ただし，六角鋼自体に若干の歪みがあり，また回転時のぶれ，負荷時のたわみなどを考慮すると，回転軸の両端の軸受けだけで高速軸縦切断刃と低速軸縦切断刃の隙間を一定に保つことは困難であると考え，軸の中央部にベアリングを介した支持を設けた。

2号機に用いた板状縦切断刃を図5-3に，2号機の外観を図5-4に示す。

なお，圃場試験に当たっては，実際の麦収穫・麦藁処理・麦藁散布作業ができるようにするため，均一散布装置と安全のためのカバーを取り付けた。

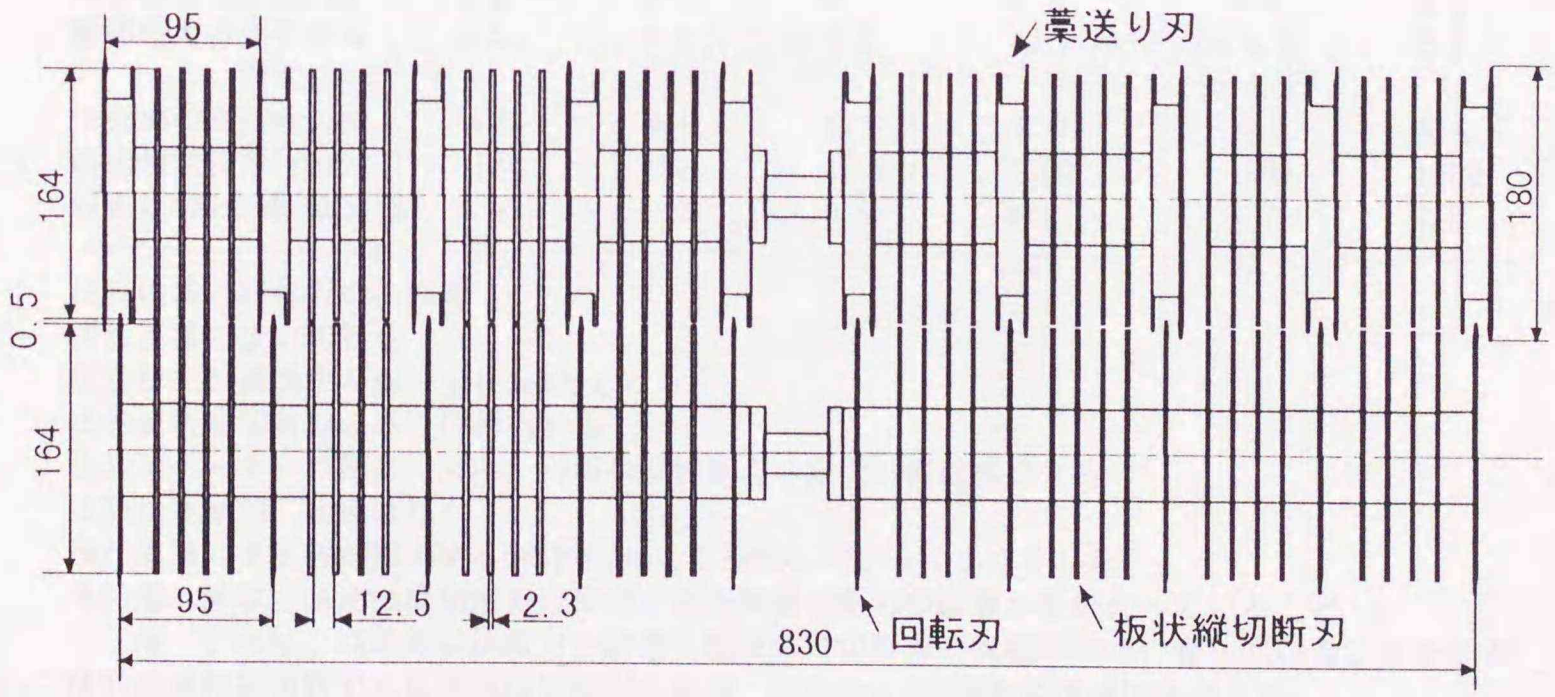


図5-1　2号機の構造

表5-1　コンバイン装着型麦藁縦切断装置の寸法・諸元

	1号機	2号機	3号機	4号機	5号機	6号機
開発・試験年度	昭和62	昭和63	平成1	平成1	平成2	平成2
全長(mm)(1)	770	830	830	830	830	825
回転軸	六角鋼	六角鋼	六角鋼	六角鋼	六角鋼	中空丸鋼
回転刃間距離(mm)(2)	110	97	97	97	98	120
〃　直径(mm)	158	180	180	180	180	220
〃　数	20	20	20	20	20	16
縦切断刃の形状	円筒状	板状	円筒状	板状	円筒状	円筒状
円筒状縦切断刃						
縦切断刃の数	16	—	16	—	16	12
直径(mm)	140	—	164	—	164	164
幅(mm)	64～72	—	80	—	80	101
縦溝の数	4	—	5	—	5	6
〃 の深さ(mm)	2	—	1	—	1.5	1.8
〃 の幅(mm)	10	—	10	—	10	11
横溝の数	30	—	30	—	30	36
〃 の深さ(mm)	2	—	1.5～2(3)	—	1.5	1.8
〃 の幅(mm)	8	—	8	—	8	8
突起部の幅(mm)(4)	5～6	—	5	—	5	5
板状縦切断刃						
縦切断刃の数	—	64	—	128	—	—
刃と刃の間隔(mm)(5)	—	12.5	—	8	—	—
刃の直径(mm)	—	164	—	164	—	—
刃の厚さ(mm)	—	2.3	—	2.3	—	—
横溝の数	—	30	—	30,45(6)	—	—
〃の深さ	—	1,1.5,2(5)	—	1,1.5,2(7)	—	—
〃の幅(mm)	—	8	—	8,6	—	—
縦切断刃の位置関係(8)	溝－溝	溝－溝	溝－突起	溝－突起	(a)溝－突起 (b)溝－溝	溝－突起
藁送り刃の有無	有り	有り	無し	無し	無し	無し
高速軸縦切断刃と低速軸						
縦切断刃の隙間(mm)(9)	0.5	0.5	0	0	0.5	0.3
縦切断刃の実質的な隙間(mm)(10)	0.5	0.5	1.0	40	(a)2.0 (b)0.5	2.1
中央部の支持の有無	有り	有り	有り	有り	有り	無し
高速軸回転数(rpm)(11)	1120	1000	1000	1000	1000	1000
回転比(高速軸/低速軸)	4.5	5.0	6.8	6.8	4.7	4.3

注1)両端の回転刃間の距離
注2)麦藁の設定切断長
注3)穂先が通過する部分を1.5mmとした
注4)板状縦切断刃の厚さに相当する
注5)スペーサーの厚さ，又は，円筒状縦切断刃の縦溝の幅に相当する
注6)低速軸30，高速軸45
注7)麦藁の下位部が通過する部分を2mmとし穂先に向かって小さくした
注8)溝－溝は，高速軸縦切断刃の縦溝と低速軸縦切断刃の縦溝が向い合っていること
　　溝－突起は，高速軸縦切断刃の縦溝と低速軸縦切断刃の突起部が向い合っていることを示す
注9)高速軸縦切断刃と低速軸縦切断刃の隙間，回転中0.3mm程度の増減はありうる
注10)高速軸縦切断刃と低速軸縦切断刃の実質的な間隙。溝－溝では(9)と等しいが，溝－突起では
　　突起部の先端から相対する縦切断刃の溝（板状縦切断刃ではスペーサー）までの距離になる
注11)無負荷時の回転数

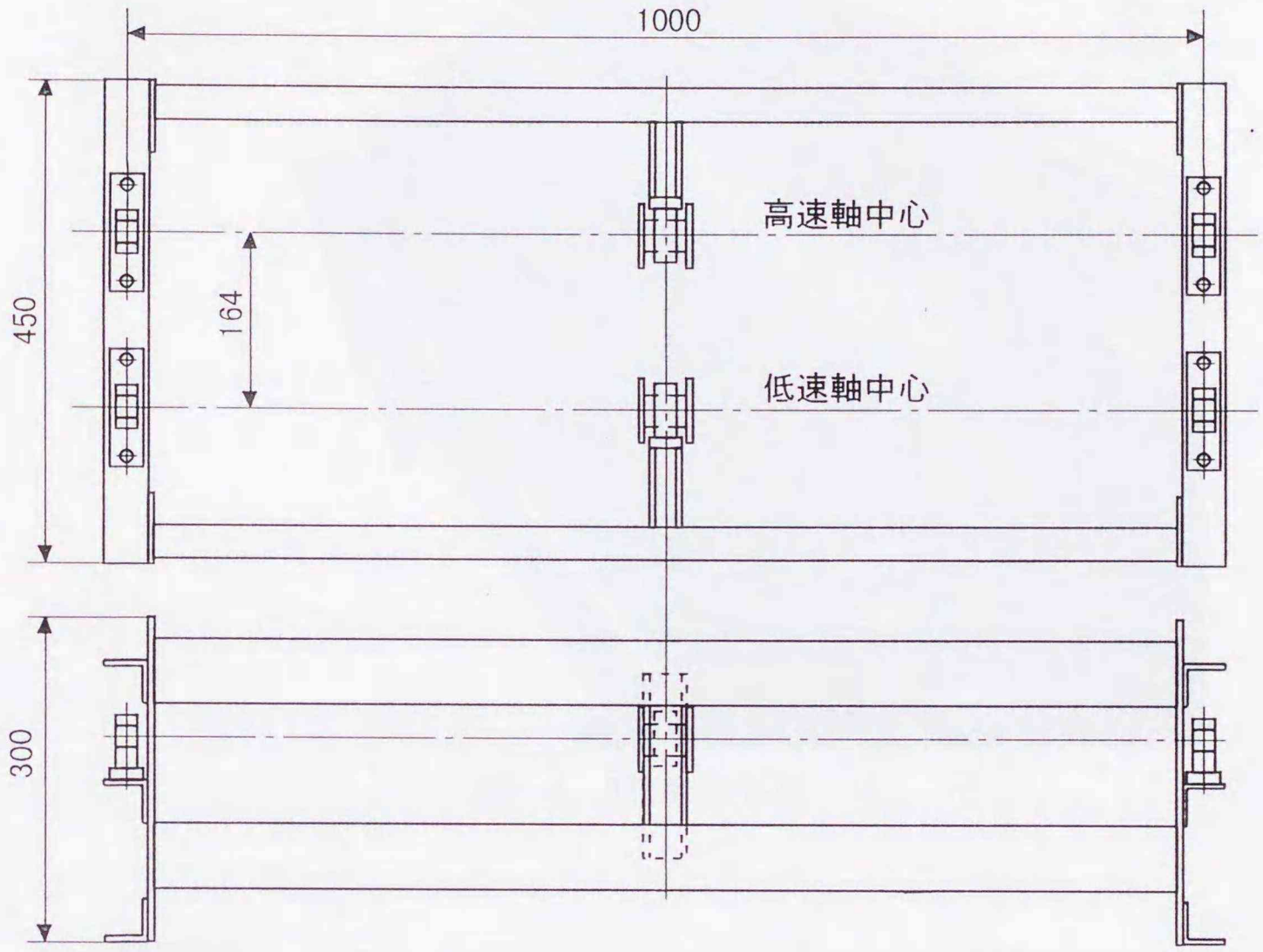


図5-2　2～5号機のフレーム構造

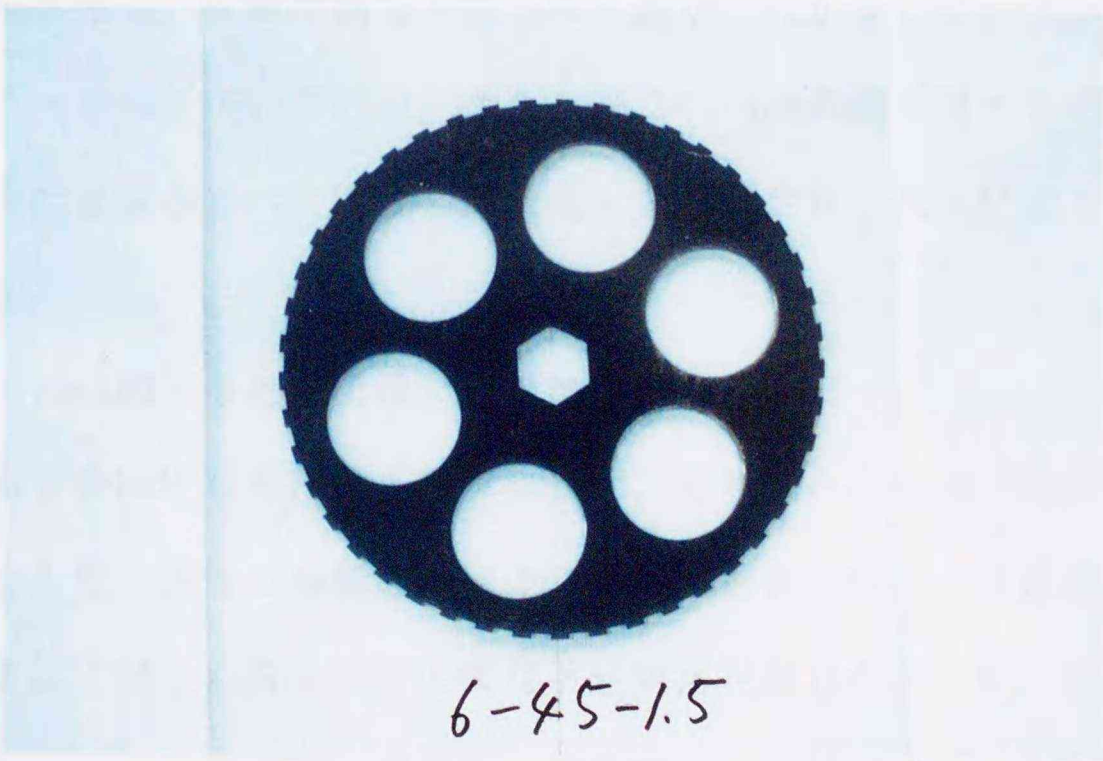


図5-3　板状縦切断刃

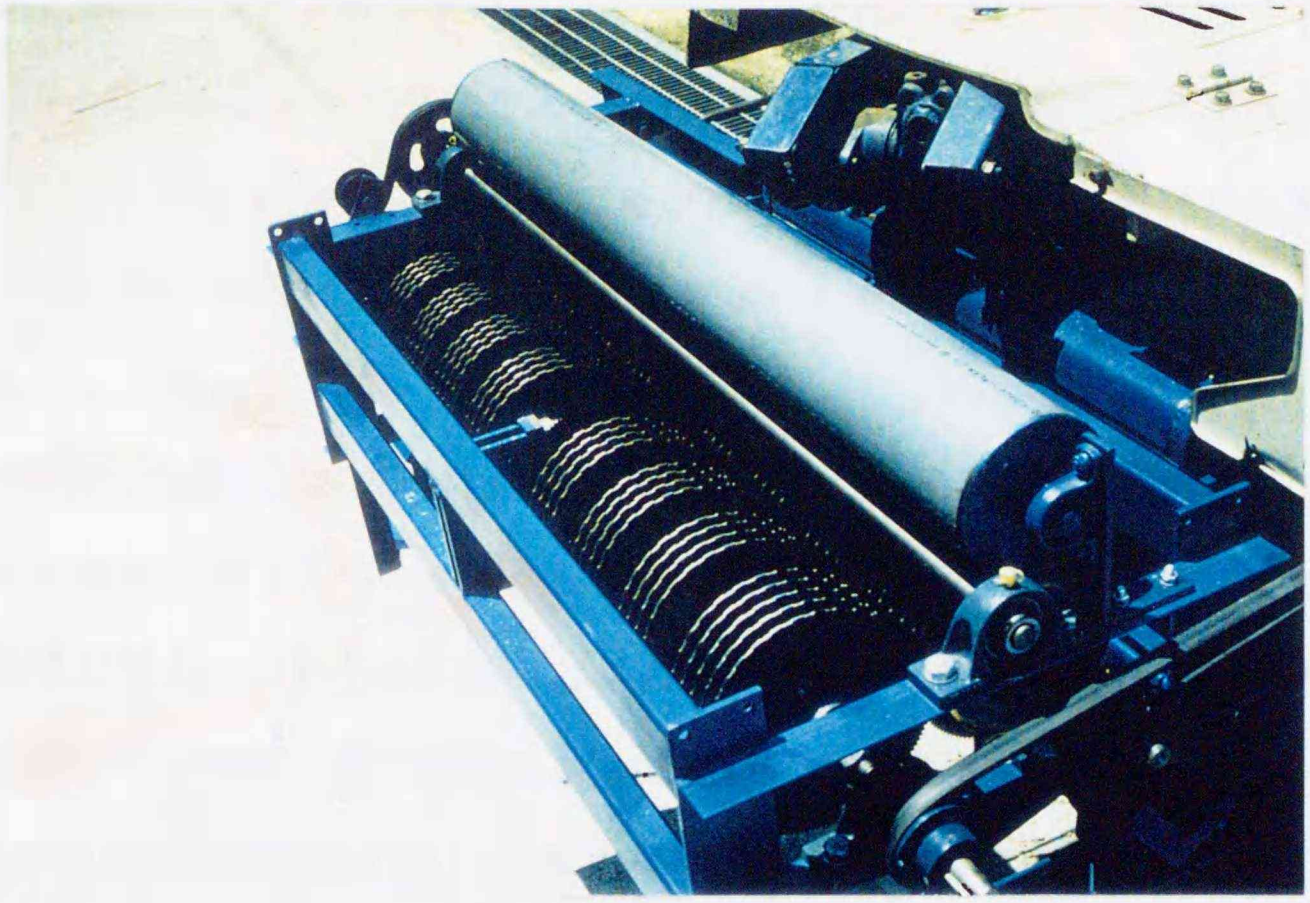


図5-4　2号機の外観

２）試験方法

前項で開発した2号機をコンバインに取り付け，1号機の性能試験と同様に，アサカゼコムギが生育する圃場で麦収穫・麦藁処理試験を行った。麦藁は全量圃場に切断散布し，試験後圃場を耕うん・湛水・代かきした。代かきは全試験区ロータリハローを用いて行い，代かき後に6～8cmの深水湛水を行い風により浮遊集積した麦藁をすべて回収し，風乾・質量測定後，次式により麦藁の浮遊率を算出した。

浮遊率(%)＝100×浮遊藁質量／地上部藁質量

地上部藁質量は坪刈り結果より算出した。対照区としては，対照区１（標準対照区）として，通常の細断のみによる麦藁処理区を設け，それ以外の対照区として，耕深，耕うん方法などの異なる対照区を設けた。また，浮遊藁収集後に水稲を移植して生育状況・収量などを調査した。試験に供試した圃場は海成沖積細粒灰色低地土である。

3）試験結果および考察

表5-2は試験結果の総括表である。2号機で処理した麦藁の浮遊率は4.3%で，対照区1（標準対照区）の麦藁の浮遊率は3.9%，対照区2（深耕区）の麦藁の浮遊率は1.0%であり，2号機によって処理された麦藁の浮遊率の減少の効果は見られなかった。

2号機で処理した麦藁の浮遊率が高かったのは，2号機では縦切断刃間の間隔が広すぎたこと（スペーサーが厚すぎたこと），その間隔に比較して縦切断刃の厚さが薄かったたためであると考えられた。この装置を通過した生藁はほとんど縦切断されず，縦切断刃によって傷が付いただけであった。

2号機の圃場試験を行う前に風乾藁を材料として予備試験を行ったが，風乾藁は比較的良好に縦切断されていた。このことを考慮すると，生藁は乾藁より縦切断されにくいと考えられた。

表5-2　2号機の性能

試験区	処理区	対照区1	対照区2
コンバイン	HD1300	TC3500	TC3500
藁処理部	2号機	本機内蔵	本機内蔵
試験圃場面積(a)	5	5	5
耕深(cm)	12	12	24
耕うん方法	←－－	深耕ロータリ	－－→
麦藁平均切断長(cm)	15.9	8.3	8.8
浮遊藁質量(kg/10a)	29.6	31.3	7.9
浮遊率(%)	4.3	3.9	1.0
上記比率	110	100	26

注）試験は1988年度に実施，麦収穫6月10日～13日，耕うん6月13日～14日
入水6月16日，代かき6月20日，代かき水深は標準，浮遊藁採取6月20日

3　コンバイン装着型麦藁縦切断装置3･4号機の開発

1）装置の構造および試験方法

1号機は，高速軸縦切断刃と低速軸縦切断刃の隙間を0.5mm程度に保ち，かつ

回転中も接触しないという条件を有するが，本装置の実用化にとっては精度が厳しくて工作上問題が多いと考えられた。また，2号機で用いた板状縦切断刃はプレスによる加工が容易であると考えられたものの，縦切断刃の枚数が少なかったためか縦切断性能は低かった。

そこで，ロール状の高速軸縦切断刃の縦溝と低速軸縦切断刃の突起部を向きあわせ，相対する縦切断刃どうしの隙間を実質的に広げることを目的としたコンバイン装着型麦藁縦切断装置3号機（以下3号機）と，この組み合わせに従って板状縦切断刃を多数配列したコンバイン装着型麦藁縦切断装置4号機（以下4号機）を，表5-1，図5-5，図5-6のような寸法・諸元で試作した。

3号機のロール状縦切断刃は1号機と同様に鋼管を材料とし，刃の形状はロール表面に縦横の溝を持つものとした。ただし，麦藁が縦切断される際に，麦藁が突起部から逃げることを最小限度に抑えるため，縦溝を1mmと浅く，横溝を1.5～2mmと深くすることを考慮して設計した。

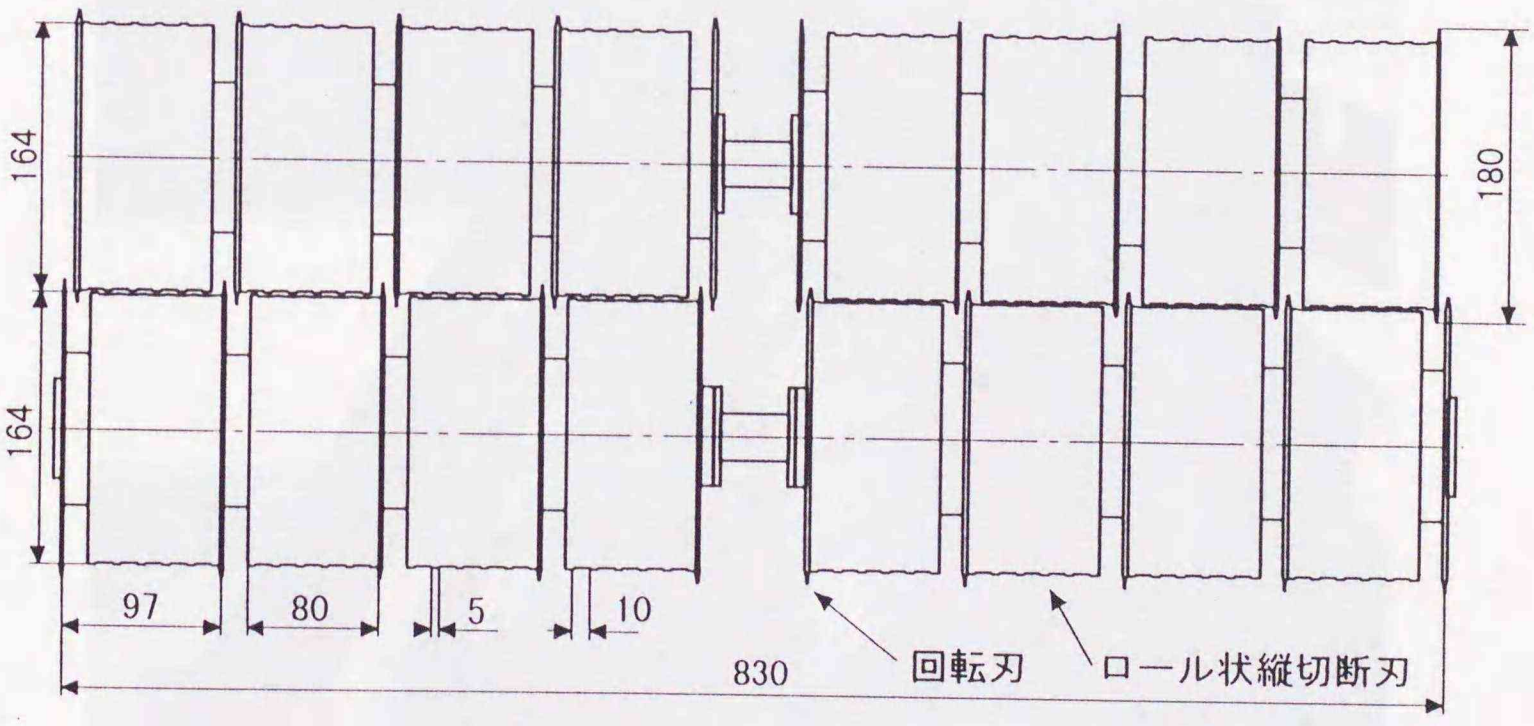


図5-5　3号機の構造

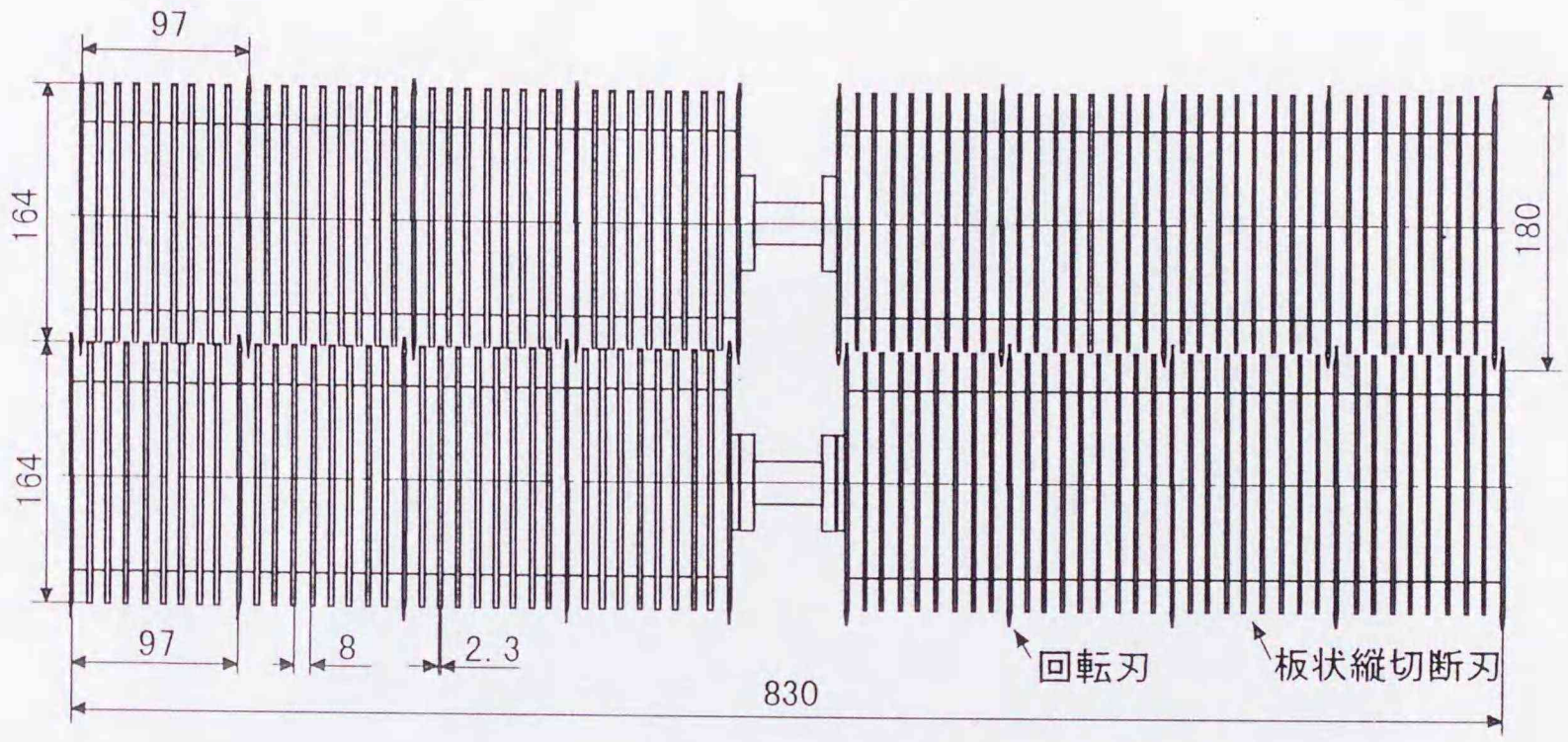


図5-6　4号機の構造

4号機の板状縦切断刃は2号機と同様のものを用い，板状縦切断刃の枚数を2号機の2倍にした。縦切断刃の溝の深さは2号機と同様の設計とした。

この装置をコンバインに取り付け，2号機と同様の方法で性能試験を行った。

3号機の外観を図5-7に，4号機の外観を図5-8に示す。また，4号機の圃場での作業風景を図5-9に示す。

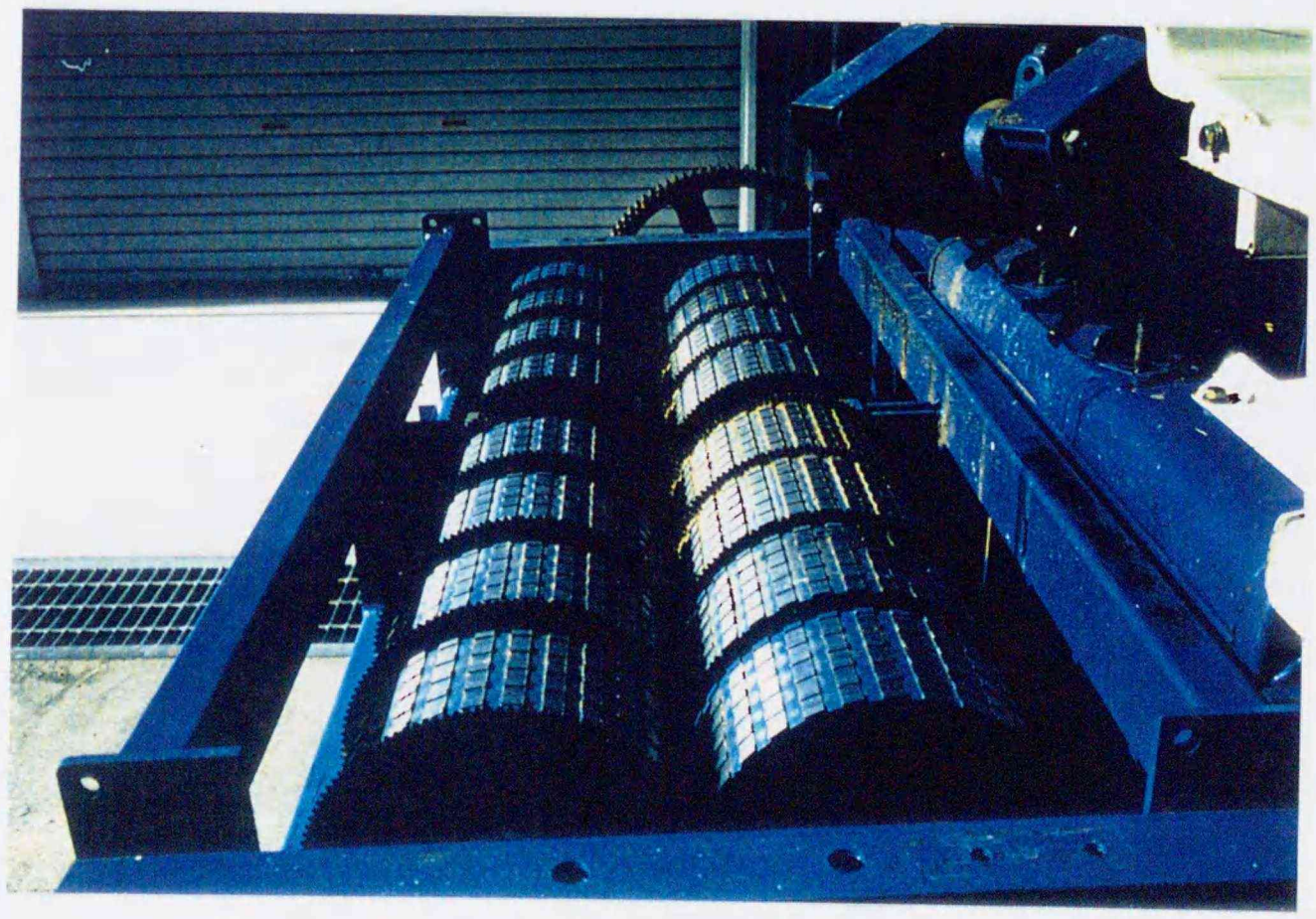


図5-7　3号機の外観



図5-8　4号機の外観



図5-9　4号機を取り付けたコンバインの作業風景

2）試験結果および考察

表5-3は試験結果の総括表である。3号機で処理した麦藁の浮遊率は表5-3に示すように3.9%で，4号機で処理した麦藁の浮遊率は2.2%であった。対照区1（標準対照区）の藁の浮遊率は6.8%，対照区2（ロータリ深耕区）の藁の浮遊率は6.1%であり，対照区3（プラウ深耕区）の藁の浮遊率は5.9%であった。

3号機は1号機に対比して，①高速軸縦切断刃の縦溝と低速軸縦切断刃の突起部が向い合っていること，②縦溝を浅く，横溝を深くすることの2点を考慮して設計した。しかし，①のような構造は1号機のような構造に比べて原理的に縦切断性能が劣ると考えられること，②のような構造は麦藁が回転軸に並行に供給されないと縦切断性能が劣ると考えられること，の2点から，3号機の縦切断性能は1号機より低かった。

表5-3　3・4号機の性能

試験区	処理区1	処理区2	対照区1	対照区2	対照区3
コンバイン	HD1300	HD1300	TC3500	TC3500	TC3500
藁処理部	3号機	4号機	本機内蔵	本機内蔵	本機内蔵
試験圃場面積(a)	5	5	5	5	5
耕深(cm)	12	12	12	20	20
耕うん方法	←― レーキ付アップカットロータリ ―→				プラウ
麦藁平均切断長(cm)	11.3	9.17	6.82	7.67	7.67
浮遊藁質量(kg/10a)	20.6	12.6	39.8	31.9	31.1
浮遊率(%)	3.9	2.2	6.8	6.1	5.9
上記比率	57	32	100	90	87

注）試験は1989年度に実施，麦収穫6月6日～9日，耕うん6月13日，入水6月16日
代かき6月16日（浅耕区）19日（深耕区），代かき水深は標準
浮遊藁採取6月17日（浅耕区）20日（深耕区）

4号機は2号機の板状縦切断刃の数を2倍にして，更に高速軸縦切断の縦溝と低速軸縦切断刃の突起部を向い合わせた。1・3号機で処理された麦藁の中には，縦切断されずに圧砕されたような麦藁が多く観察されたが，4号機で処理された麦藁は見た目には最もきれいに縦切断されていた。それにもかかわらず麦藁

の浮遊率が1号機に比較して大きかったのは，入水直後に代かきを行ったためであると考えられた。

2号機や4号機のような板状縦切断刃を用いた場合，縦切断刃間の間隔を定距離に保持するために，刃と刃の間には塩ビのパイプ（2号機）やアクリル樹脂板製のスペーサー（4号機・図5-10）を挿入したが，縦切断刃や樹脂板の厚みが少しずつ異なり，それが何十枚も重なると最終的に数mmの誤差ができ，また，このことが原因で縦切断刃が回転軸に垂直に固定されず，軸の回転によって縦切断面が左右にふれる結果になった。板状縦切断刃はプレス加工が可能であり，大量生産に向くと考えられたが，実用化に際しては縦切断刃やスペーサーなどの厚みを厳密に成形する必要があると思われた。

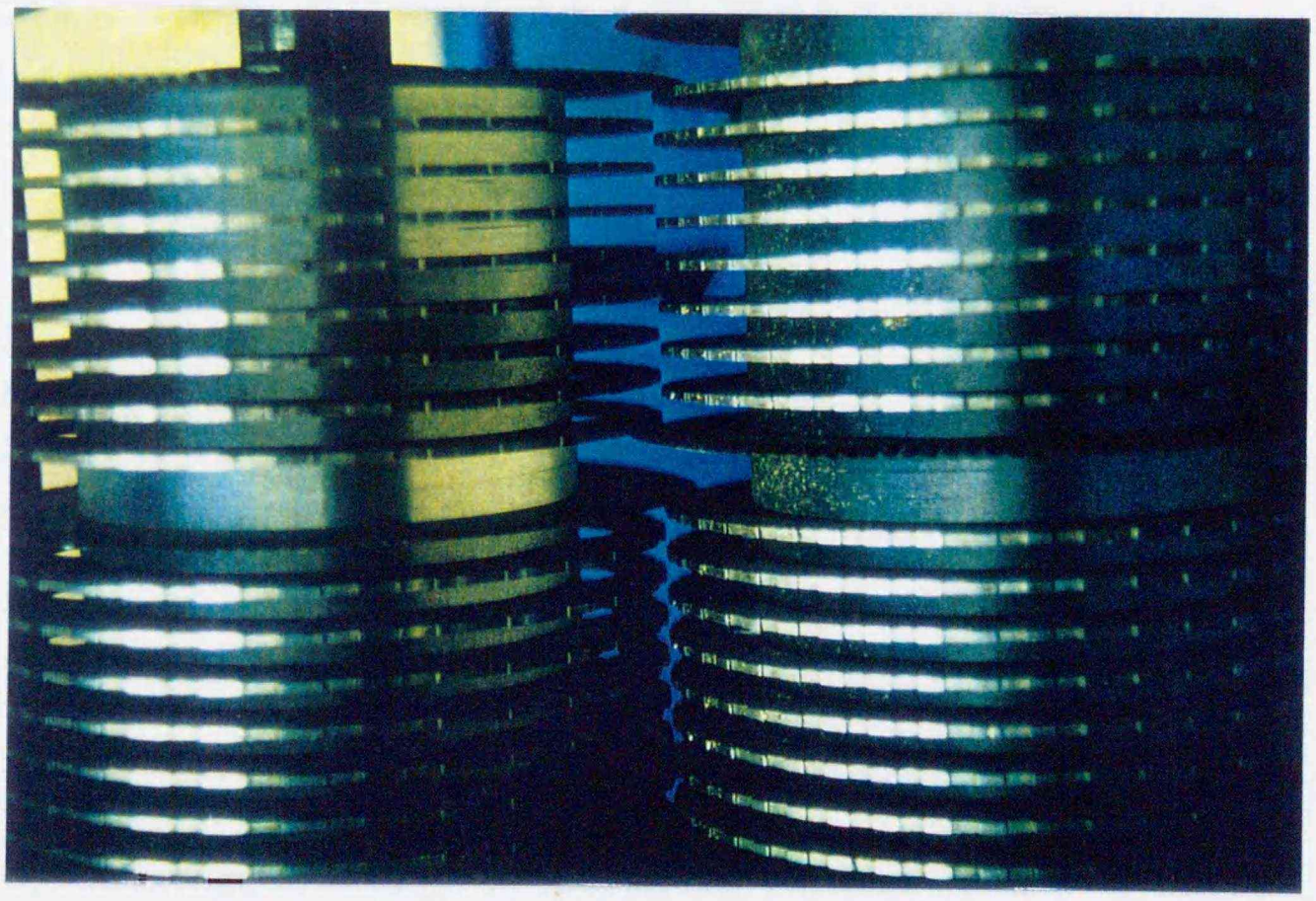


図5-10　4号機の板状縦切断刃の配置状況

4　縦切断刃の溝の深さの検討

これまでに試作した麦藁縦切断装置の縦切断刃の溝の深さは，藁の直径を約4mmと決めて一定の深さとするか（1号機），藁の穂先が通過する部分を浅く藁

の基部に向かって溝の深さを深くしていた（2～4号機）。

しかし，本装置では多様な種類の麦藁を縦切断する必要があることから，縦切断刃の溝の深さを再検討するため，以下のように麦藁の直径を調査した。

1）麦藁の直径の調査

近畿中国地域において栽培されている代表的な麦類の麦藁の直径を調査した。麦類品種として，シラサギコムギ，シロガネコムギ，農林61号，ヒヨクコムギ，中国131号，アサカゼコムギ，農林26号，セトコムギ，フクワセコムギ，あまぎ二条を供試した。中国農試の育種圃場で同一条件で栽培されている材料を用い，各品種50～100本について地際から10cm間隔で穂首までの直径を調査した。ただし，あまぎ二条については現地農家で栽培された材料を用いた。

2）麦藁の節の直径の調査

アサカゼコムギの麦藁20本を供試して，藁の節の直径と地上からの距離（地上高）を調査した。

3）調査結果および考察

麦藁の直径の調査の結果を表5-4に示す。供試品種の藁の直径は，地上高50cmまでは最小3.0mm，最大4.8mmで，それ以降穂首に進むにつれて細くなり穂首付近では1.7～2.9mmであった。

アサカゼコムギの藁の節の直径と地上高の調査結果を図5-11に示す。穂首節を除く節の多くは地上から50cm以下にあり，直径は3.0～4.5mmであった。穂首節は直径2mm前後で，地上高60～75cmの位置にあった。

これらの結果を，前章までの内容ならびに麦藁の稈の一般的傾向と考えあわせ，縦切断刃の溝の深さの決定に当たり次のように整理した。

表5-4　麦藁の直径(mm)

地上高	0cm	10cm	20cm	30cm	40cm	50cm	60cm	70cm	80cm	0～50cm
シロガネコムギ	3.23	3.29	3.29	3.36	3.49	3.19	2.76	2.25	1.87	3.2～3.5
あまぎ二条	3.52	3.76	3.69	3.65	3.18	2.98	2.32	1.71	－	3.0～3.8
農林６１号	3.45	4.06	4.18	3.91	3.97	3.69	3.17	2.79	2.26	3.7～4.2
フクワセコムギ	3.54	4.16	4.26	4.28	4.32	4.02	3.68	3.06	2.49	3.5～4.3
ヒヨクコムギ	3.63	4.00	4.28	4.51	4.37	4.05	3.70	3.04	2.68	3.6～4.5
農林２６号	3.82	3.98	4.34	4.32	4.49	4.25	3.86	3.28	2.62	3.8～4.5
シラサギコムギ	4.21	4.60	4.35	4.16	4.17	4.14	3.62	3.53	2.88	4.1～4.6
アサカゼコムギ	4.12	4.47	4.60	4.56	3.89	3.38	2.71	2.74	－	3.4～4.6
中国１３１号	3.97	4.50	4.63	4.78	4.53	4.29	3.93	3.17	2.83	4.0～4.8
セトコムギ	4.23	4.54	4.73	4.54	4.47	3.92	3.39	2.92	2.58	3.9～4.7

注）各品種50～100本の平均値

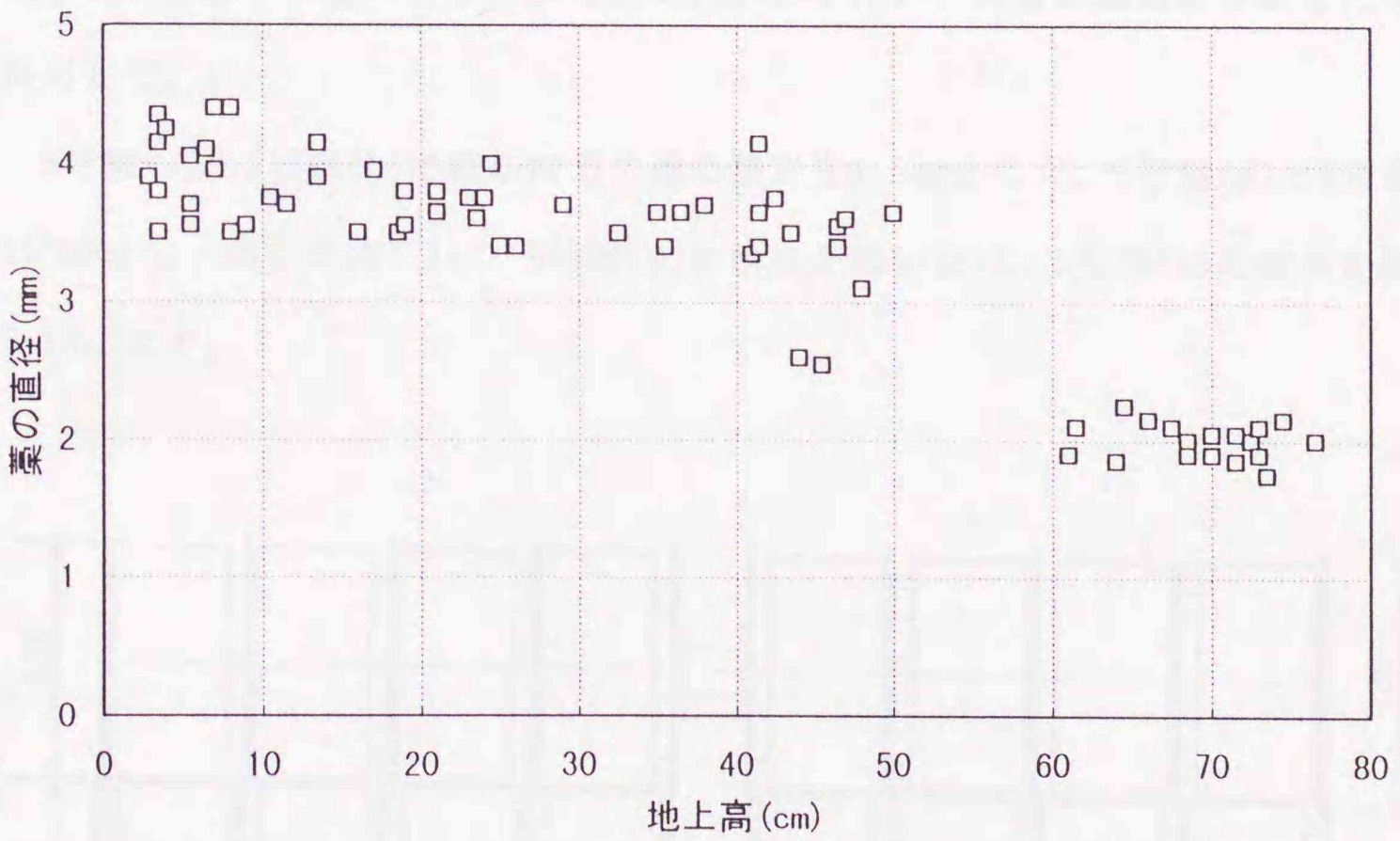


図5-11　節の直径と地上高

①代かき後に浮遊する麦藁の多くは節有り藁であること，②稈上位部の直径は2～2.5mm程度であり縦切断することは困難であるが，節密度および沈下率を考慮すると，その縦切断効果は小さいと考えられること，③二条大麦など稈の直径の比較的小さいものにも適応できること。

以上のことから，麦藁縦切断装置は直径3.0～4.5㎜の麦藁を縦切断できれば良いものと考えられ，前章の結果から，縦切断刃の溝の深さは1.5～1.8㎜とし，高速軸縦切断刃と低速軸縦切断刃間の隙間を0～0.5㎜とすることが適当であると考えられた。

5　コンバイン装着型麦藁縦切断装置5･6号機の開発

1）装置の構造および試験方法

コンバイン装着型麦藁縦切断装置5号機（以下5号機）では，高速軸縦切断刃の縦溝と低速軸縦切断刃の突起部が向き合うようにした5号機(a)と，5号機(a)の回転軸の一方を7㎜程軸方向に移動させて高速軸縦切断刃の縦溝と低速軸縦切断刃の縦溝が向き合うようにした5号機(b)を用い，両者の縦切断性能を比較検討した。

5号機(a)と5号機(b)は縦切断刃の溝の深さを1.5㎜とした。5号機(a)と5号機(b)の寸法・諸元を表5-1に，5号機(a)の構造を図5-12に，5号機(b)の構造を図5-13に示す。

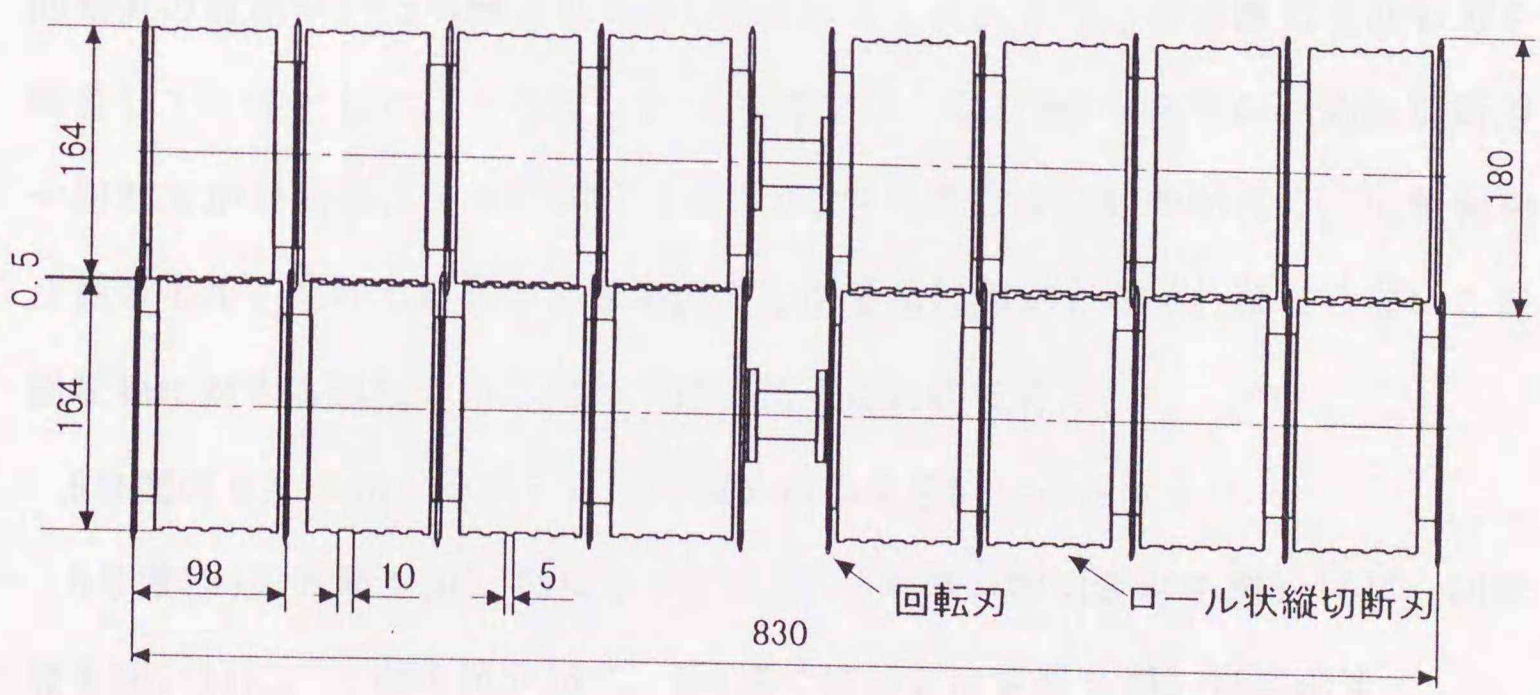


図5-12　5号機(A)の構造

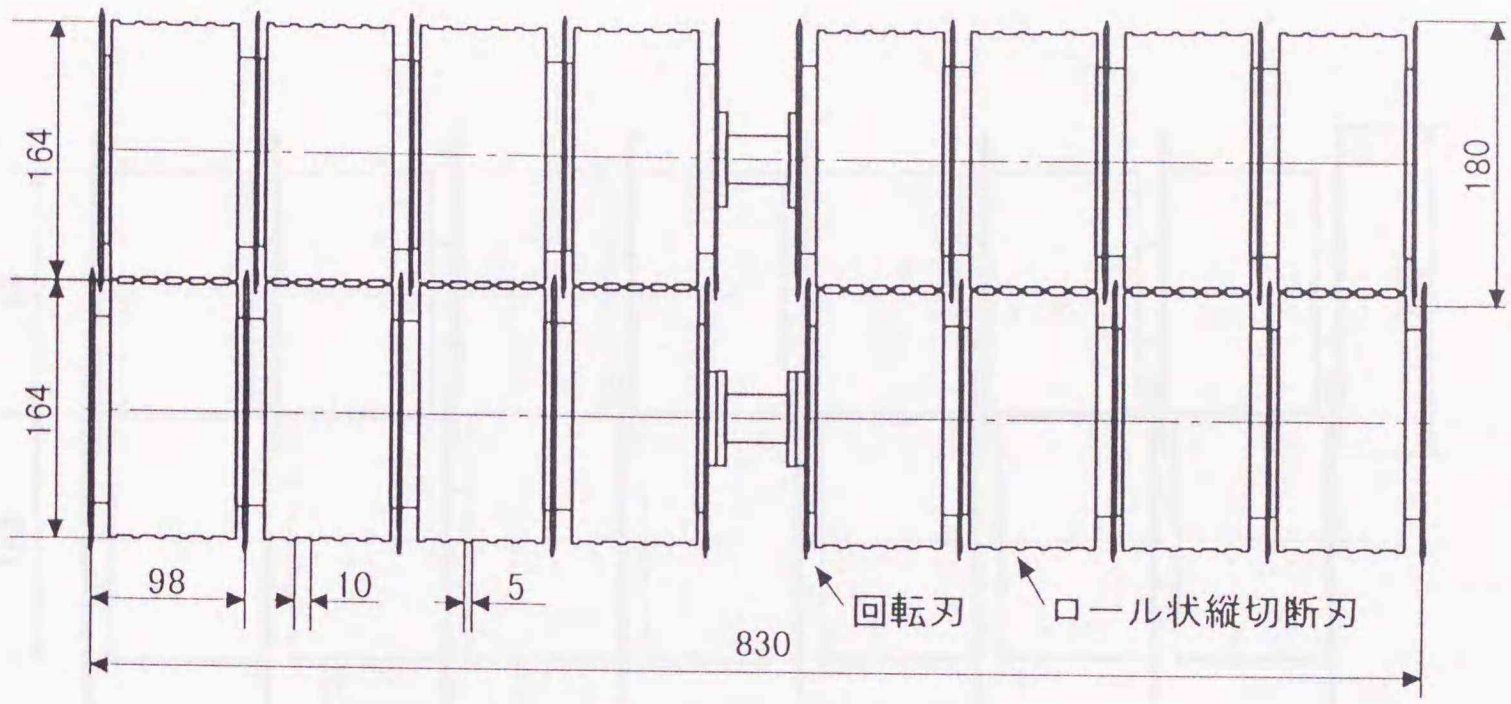


図5-13　5号機(B)の構造

コンバイン装着型麦藁縦切断装置6号機（以下6号機）は，高速軸と低速軸の距離が3段階に切り替え可能なディスクカッタの付いた市販機を本機とし，これに縦切断装置を組み込む形とした。回転軸の歪や回転時のたわみをできるだけ小さくするため，回転軸に直径50mmの中空丸鋼を用い，レバーにより両軸の距離を調節することにより縦切断の有無（細断，細断＋縦切断）を選択できるようにした。

6号機では，ロール状縦切断刃の直径は2～5号機と同様に164mmとしたものの，回転刃の直径は2～5号機より大きい220mmとした。また，縦切断刃と回転刃を接着して一体とした。これは，2～5号機では，回転軸が6角形のため縦切断刃や回転刃が回転軸に確実に固定されるが，6号機では回転軸が丸く，回転軸の片側のボルトだけで回転刃と縦切断刃を回転軸に固定しなければならないこと，回転軸に対する回転刃の芯出しを確実にするためである。

6号機の寸法・諸元を表5-1，6号機の構造を図5-14に示す。

5号機(b)の外観を図5-15に示す。また，6号機の縦切断刃を図5-16に，回転軸を図5-17に，外観を図5-18に，6号機で処理した麦藁を図5-19に示す。

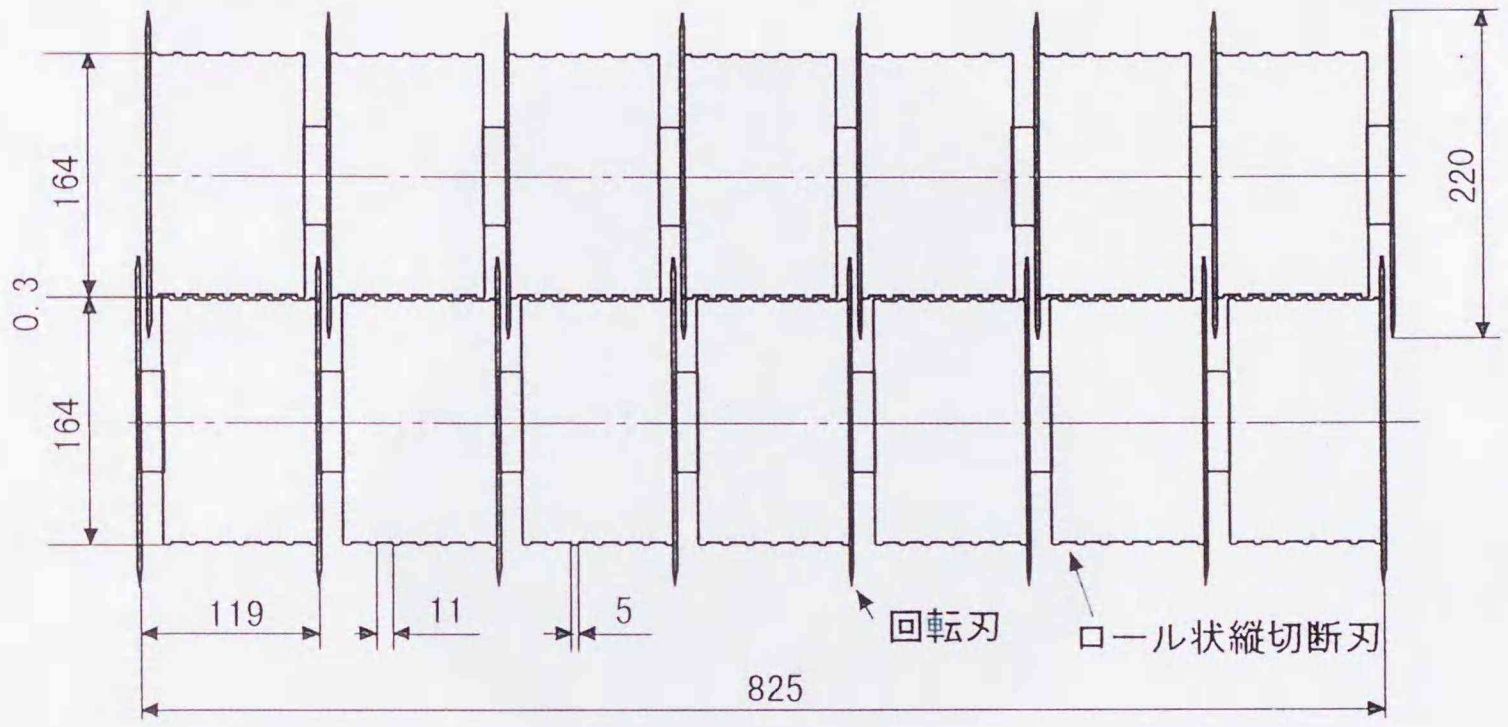


図5-14　6号機の構造



図5-15　5号機の外観



図5-16　6号機に取り付けたロール状縦切断刃および回転刃



図5-17　6号機に用いた回転軸

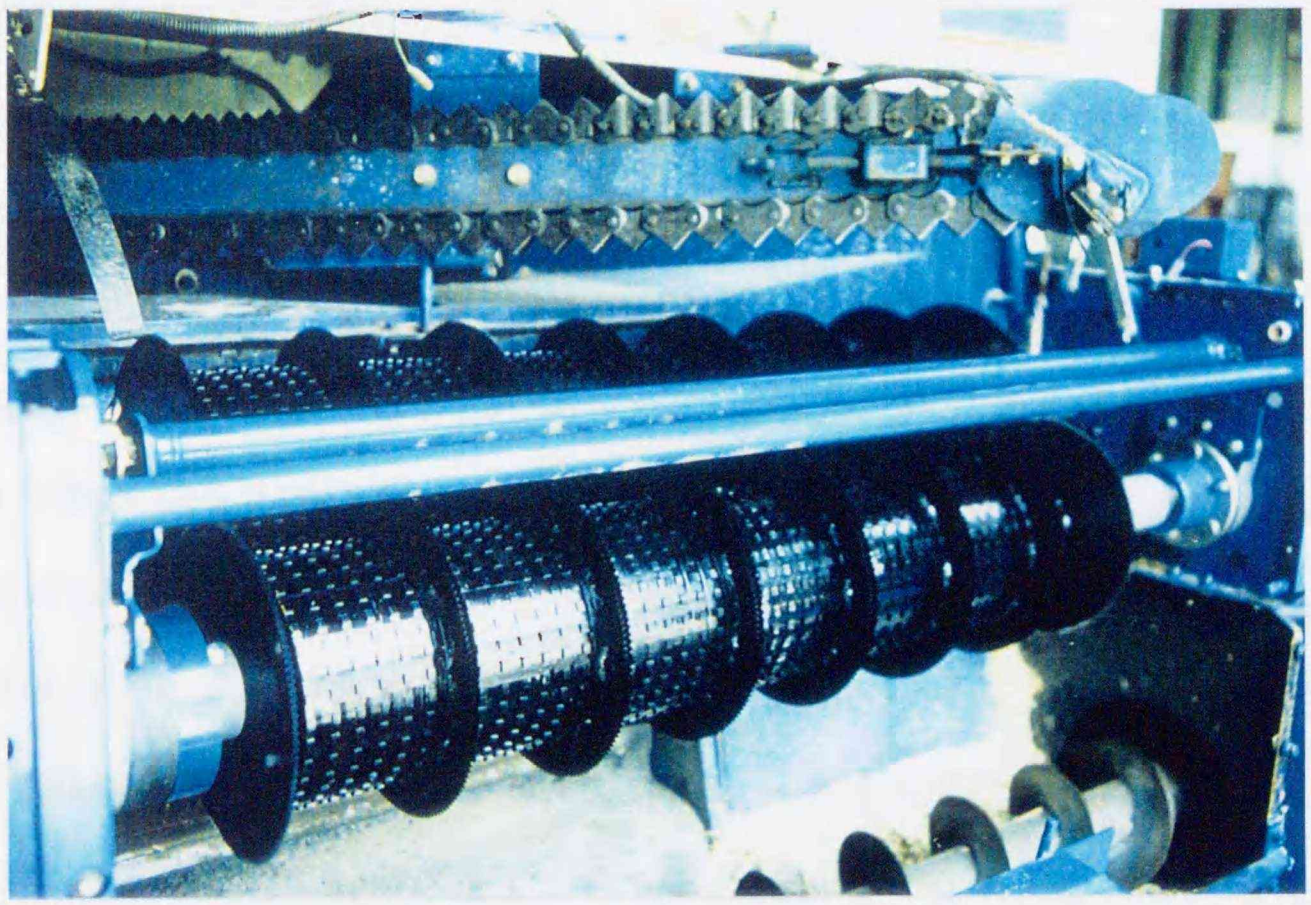
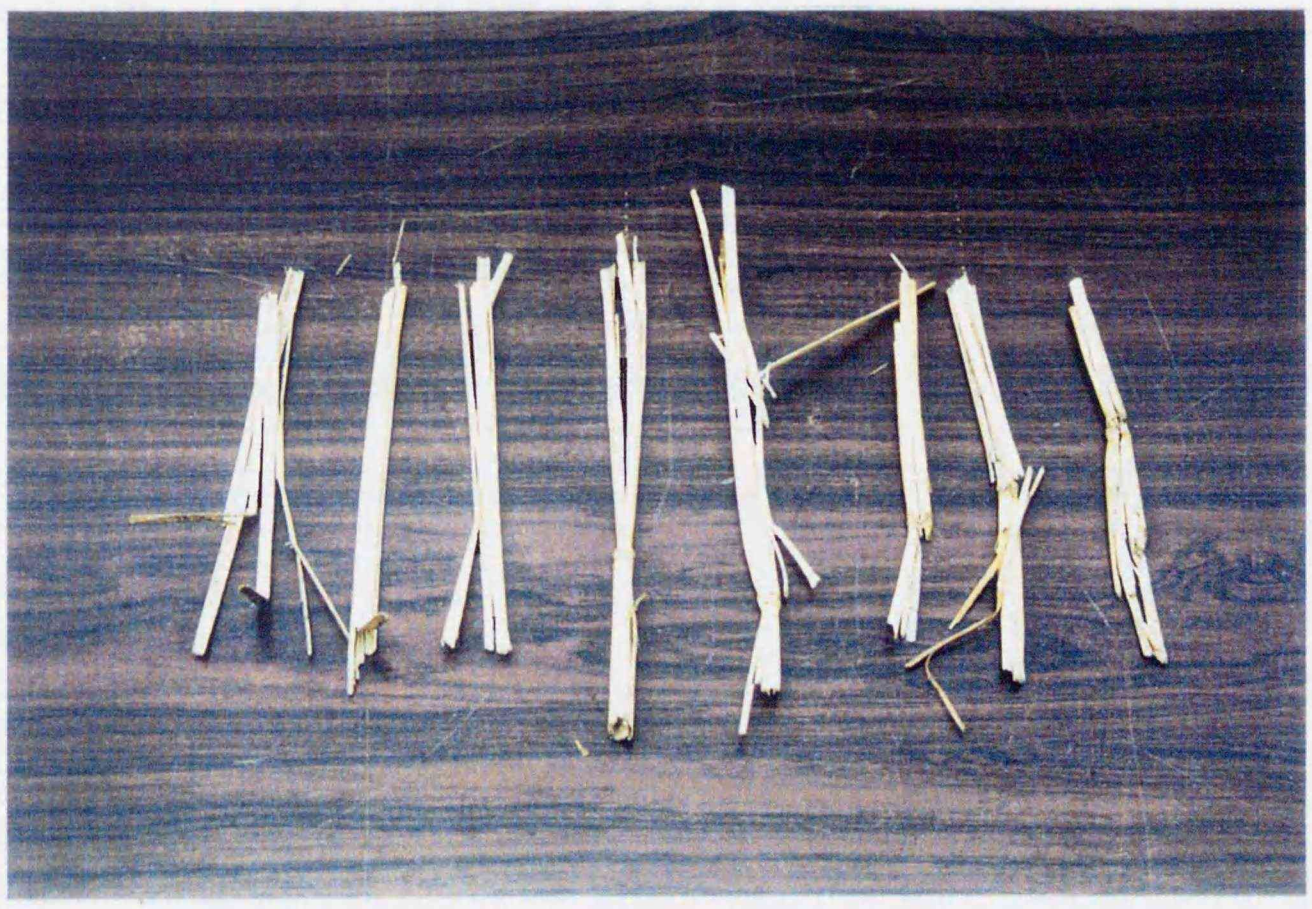


図5-18　6号機の外観



左側3本：縦切断された節無し藁　　右側3本：節が縦切断された節有り藁

中央2本：節以外が縦切断された節有り藁

図5-19　6号機で処理した麦藁

2）試験結果および考察

表5-5は試験結果の総括表である。表から5号機(a)で処理した麦藁の浮遊率は1.0%，5号機(b)で処理した麦藁の浮遊率は0.5%であった。また，6号機で処理した麦藁の浮遊率は1.3%であった。対照区1（標準対照区）の藁の浮遊率は2.4%，対照区2（プラウ深耕区）の藁の浮遊率は3.8%であり，対照区3（ロータリ深耕区）の藁の浮遊率は1.2%であった。

5号機(a)と5号機(b)または6号機の性能を比較した場合，高速軸縦切断刃の縦溝と低速軸縦切断刃の縦溝を向い合わせた5号機(b)が優っており，藁の浮遊率は0.5%という高い性能を示している。

5号機(b)の性能が高かった原因として，1号機と同じように高速軸縦切断刃の縦溝と低速軸縦切断刃の縦溝が向き合っていることが理由として考えられる。高速軸縦切断刃の突起部と低速軸縦切断刃の縦溝を向かい合わせた構造は，結局隙間の開いたはさみで紙を切るようなものであり，いかに刃の切れ味が良くてもその切断性能は隙間の無いはさみに及ばないものと考えられる。

表5-5　5・6号機の性能

試験区	処理区1	処理区2	処理区3	対照区1	対照区2	対照区3
コンバイン	HD1300	HD1300	I2400	TC3500	TC3500	TC3500
藁処理部	5号機(a)	5号機(b)	6号機	本機内蔵	本機内蔵	本機内蔵
試験圃場面積(a)	5	5	5	10	5	5
耕深(cm)	12	12	12	12	22	25
耕うん方法	← レーキ付アップカットロータリ →				プラウ	深耕ロータリ
麦藁平均切断長(cm)	12.4	12.4	11.0	6.70	6.70	6.70
浮遊藁質量(kg/10a)	6.1	2.8	6.5	13.0	7.0	2.2
浮遊率(%)	1.0	0.5	1.3	2.4	3.8	1.2
上記比率	42	21	54	100	158	50

注1）試験は1990年度に実施，麦収穫6月6日～7日，耕うん6月11日，入水6月12日
代かき6月18日，浮遊藁採取6月18日，代かき水深は浅くした
注2）対照区2および3は湿害で麦が生育不良であった（麦藁風乾重は186kg/10a）

6　麦藁縦切断装置の性能比較と総合考察

1）各機種間の性能比較

圃場試験における対照区の藁の浮遊率は，1号機の圃場試験の対照区も含めて考えると大きな違いがある。例えば，対照区1（標準対照区）の浮遊率は3.2%（1987年度），3.9%（1988年度），6.8%（1989年度），2.4%（1990年度）となっており，試験年度により2倍以上の差がある。これは，1989年度の試験においては，特に入水後直ちに代かきを行ったことから浮遊率が高くなっており，1990年度は入水から代かきまでに6日間の期間を設け，更に代かき水深を浅めに設定したことで浮遊率が低下していると考えられるが，麦藁の切断長・耕深・水温などの微妙な違いが影響している可能性も考えられる。

各試験区の麦藁の浮遊率を，対照区1を100とする比率で見た場合，5号機(b)が21で最も良く，4号機が32，5号機(a)が42，6号機が54，3号機が57，となっている。

これらは試験条件が異なっており，数字の上だけで各装置の性能を論ずることはできないが，5号機または6号機の試験のように，入水後代かきまでに十分時間を取り浅水で代かきした場合，浮遊率は1%程度まで下げることが可能であった。藁の浮遊率をどの程度に抑えれば良いかは，圃場の大きさ，麦藁の収量などにより浮遊・集積の量も異なり一概には言えないが，川崎らの提言した3～5%という値に比較すれば[66)67)]，1%という値は十分満足できる値であると考えられる。

なお，本試験においては，代かき後直ちに水田を水深6～8cmの深水湛水状態とし，風により畦畔際に集積した麦藁の浮遊量から浮遊率を算出したが，これは，水稲移植時点まで浅水管理（浅水代かき・浅水移植）をすることが可能であったとしても，その後の除草剤散布では，薬剤の効果を低下させないため4～5cm以上の湛水をする場合が多く，この時点での風による麦藁の浮遊・集積

は防止する手だてが無いと考えたためである。したがって，本報告における麦藁の浮遊率と他の報告[59)60)66)67)]の浮遊率はその内容が若干異なっていると考えられる。

例えば，青木らは麦藁の切断長と代かき方法について検討し，代かき後の深さ0～3cmの麦藁の埋没率が13～17%の圃場に，除草剤散布のため深さ5cmに湛水したところ，風により散布量の20%が畦畔ぎわに集積したと報告している[60)]。調査の方法にもよるが，浅水状態で沈下しているようにみえる麦藁も，深水では風によって浮遊して畦畔ぎわに集積すると考えられる。

また，本試験では麦藁の浮遊率を算出するに当たり，地下部の麦藁（刈り株）を考慮に入れなかったが，仮に地上部の麦藁がすべて沈下したとしても，地下部の麦藁の一部は浮遊藁となり本試験での浮遊率に加算されてくるものと考えられる。その意味で浮遊率0.5%という値は，代かき後の麦藁の浮遊率の最低値と考えられ，麦藁縦切断装置の性能は極めて高いと考えられる。

図5-20と図5-21は，岡山市金田の農家大橋氏の圃場で市販コンバインと4号機を供試して麦収穫を行い，耕うん，代かきを行った後の圃場の状況である。



図5-20　市販コンバインによる麦収穫，耕うん，代かき後の麦藁の浮遊状況



図5-21　4号機による麦収穫，耕うん，代かき後の麦藁の浮遊状況

図5-20は市販コンバインを供試した圃場で，図5-21は4号機を供試した圃場であるが，代かき後の圃場面に観察される麦藁の量は4号機を用いた圃場の方が明らかに少ない。このように，麦藁縦切断装置の効果は代かき後に明瞭に現れるため，畦畔上に麦藁をすくい上げる労力を減らすばかりでなく，農家の心理的負担を減少させる効果もまた大きいと思われる。

２）総合考察

大塚らは耕うん方法，代かき方法について詳細な試験を行った結果，代かき後の麦藁の浮遊率を減少するためには，深耕および浅水代かきの効果が高いことを明らかにしたが[59]，この結果を支持する報告は多い[48)60)65)66)67)]。

本試験においても，対照区として深耕区を設けているが，その麦藁の浮遊率は，対照区1に比較して38%（1987年度），26%（1988年度），87～90%（1989年度）であり，麦が湿害のため生育不良であった1988年度の試験を除いていずれ

も対照区1を下回っており，深耕が麦藁の浮遊率を低下させる効果は大きいと考えられる。

また，麦藁の切断長と耕うん・代かき後の埋没率との関係では，耕うん後の埋没率は切断長の短い方が藁が全層に混入されて良いが，代かき後は5cm程度の短い麦藁は浮かび上がりやすく，10～15cm程度の方が良いと報告されている[57) 60) 73)]。

本研究では，麦藁縦切断装置の構造上，麦藁の切断長は対照区より長めとなっており，それが原因で代かき後の麦藁の浮遊率が小さくなっている可能性もある。しかし，縦切断された麦藁がその切断長に関係なく2日で90%程度沈下することを考慮すると，縦切断処理区の藁の長さが対照区の藁と同じ切断長であっても，代かき後の麦藁の浮遊率は大きく変化しないと思われる。

代かき時に麦藁の浮遊率を低下させるための装置の開発研究として，九州農試ではロータリの内側に櫛状スクリーンを取り付けた装置を用いて，代かき後の麦藁すき込み性能を検討したが，予期した効果は見られなかったとしている[68)]。また，川崎らは麦藁すき込み用ディスク型代かき機を開発し，異なる代かき水深において麦藁の浮遊率を検討したが，代かき水が多い場合には決め手になるほどの効果がないことを明らかにした[66) 67)]。

農事試験場では，ロータリの後ろに星形ローラ，カゴ形ローラ，リング形ローラの3種類のローラを取り付け，代かきと同時に麦藁の埋没を試みており，性能の差は少ないものの，星形ローラがわずかに良かったと報告している[62)]。

麦藁縦切断装置においても，麦藁の水分，麦藁の処理量などによる縦切断性能の変化は当然あるものと予想できる。しかし，第II章で明らかにしたように，縦切断された麦藁は3日でほとんど水中に沈下する。

このことは，縦切断された麦藁が耕深や代かき水深などの影響を受けることが少なく，湛水して数日後の代かき作業中に確実に沈下することを意味してお

り，深耕や浅水代かきによる麦藁の浮遊率の低下方法が，作業期間，圃場条件の制約を受け，また，田植え作業の精度・能率に与える影響を考慮すれば，麦藁を縦切断することは，麦藁の浮遊率の減少にとって最も安定した確実な方法であると考えられる。

なお，1987年度～1990年度の間，麦藁縦切断処理区および対照区において，浮遊藁を採取した後，水稲（コシヒカリ）を移植し，草丈・茎数調査などの生育調査を行うとともに収量調査を実施した。その結果，1987年度には1号機の試験圃場の水稲の生育が対照区1に比較して明らかに遅延したが，その他の年度では処理区と対照区の間に生育・収量についての有意な差は見いだせなかった。

このような生育障害は，麦藁をすき込んだ圃場の初年目から数年目にかけて一般に観察される還元障害[53)58)74)]であると思われ，年次の経過とともに水稲作に与える影響は少なくなるものと考えられた。

7　負荷特性試験

麦藁縦切断装置の動力負荷特性を調査するため，以下に示す試験を行った。

1）試験方法

アサカゼコムギの生藁と乾藁を供試し，4号機を用いて実験室内で負荷特性試験を実施した。対照機は，4号機の縦切断刃を取り除いた装置とした。実験装置は図5-22に示すとおりで，土屋らの報告[75)]を参考に，2.2kWのモータを主動力とし，スリップリングを介してカッタ軸の高速側を回転させ，軸トルクは歪ゲージで，軸回転数は近接スイッチカウンターで測定し，データレコーダで読み取り，ローパスフィルタ・ADコンバータを通してパーソナルコンピュータで解析した。

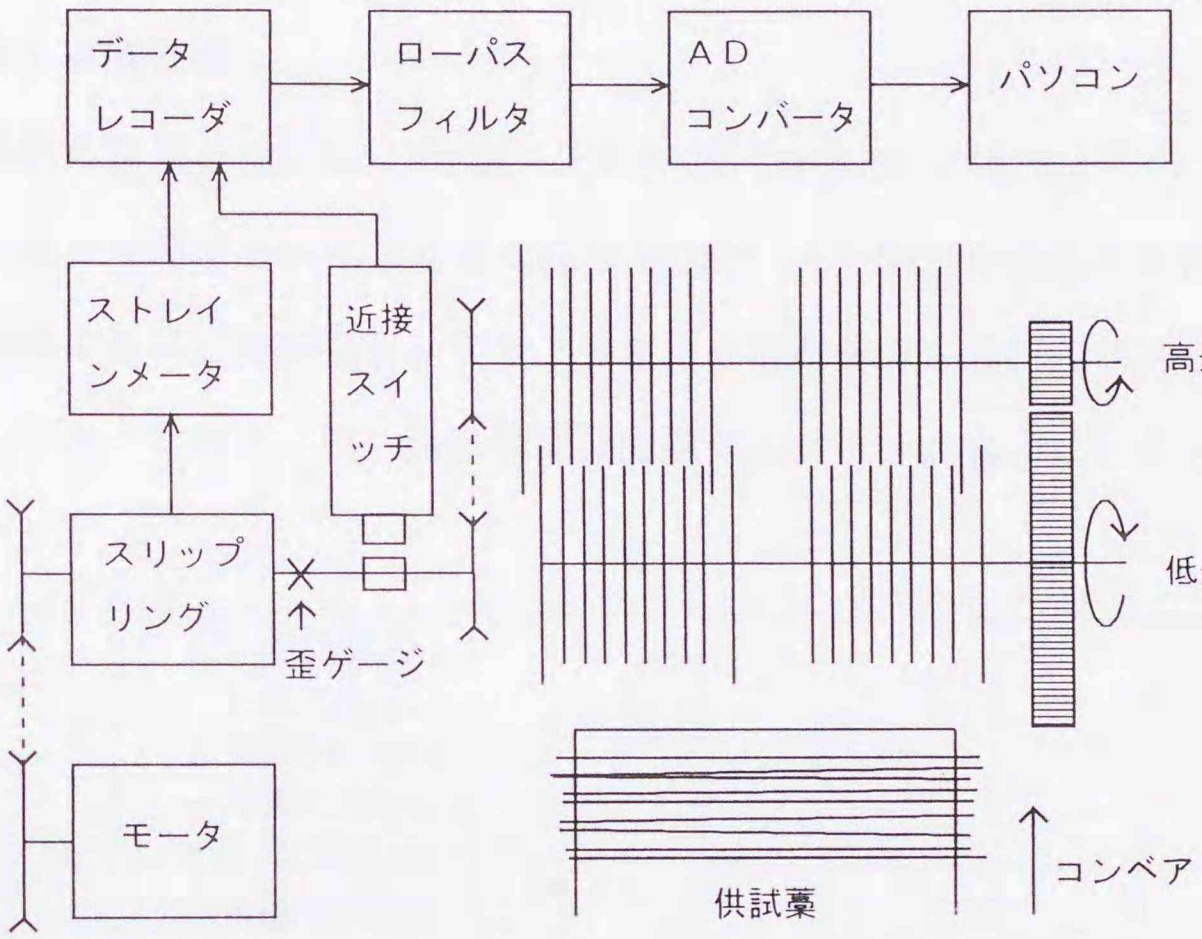


図5-22　負荷測定試験装置

カッタの高速軸の回転数は，対照機で600～1500rpm，4号機で1000～2000rpmとした。材料の麦藁は0.5m/sで動くベルトコンベヤ上に幅50cmで厚さが均一になるように載せ，供給量が乾藁で0.1～0.5kg/s，生藁で0.2～0.7kg/sになるよう調節した。負荷特性試験の状況を図5-23に示す。

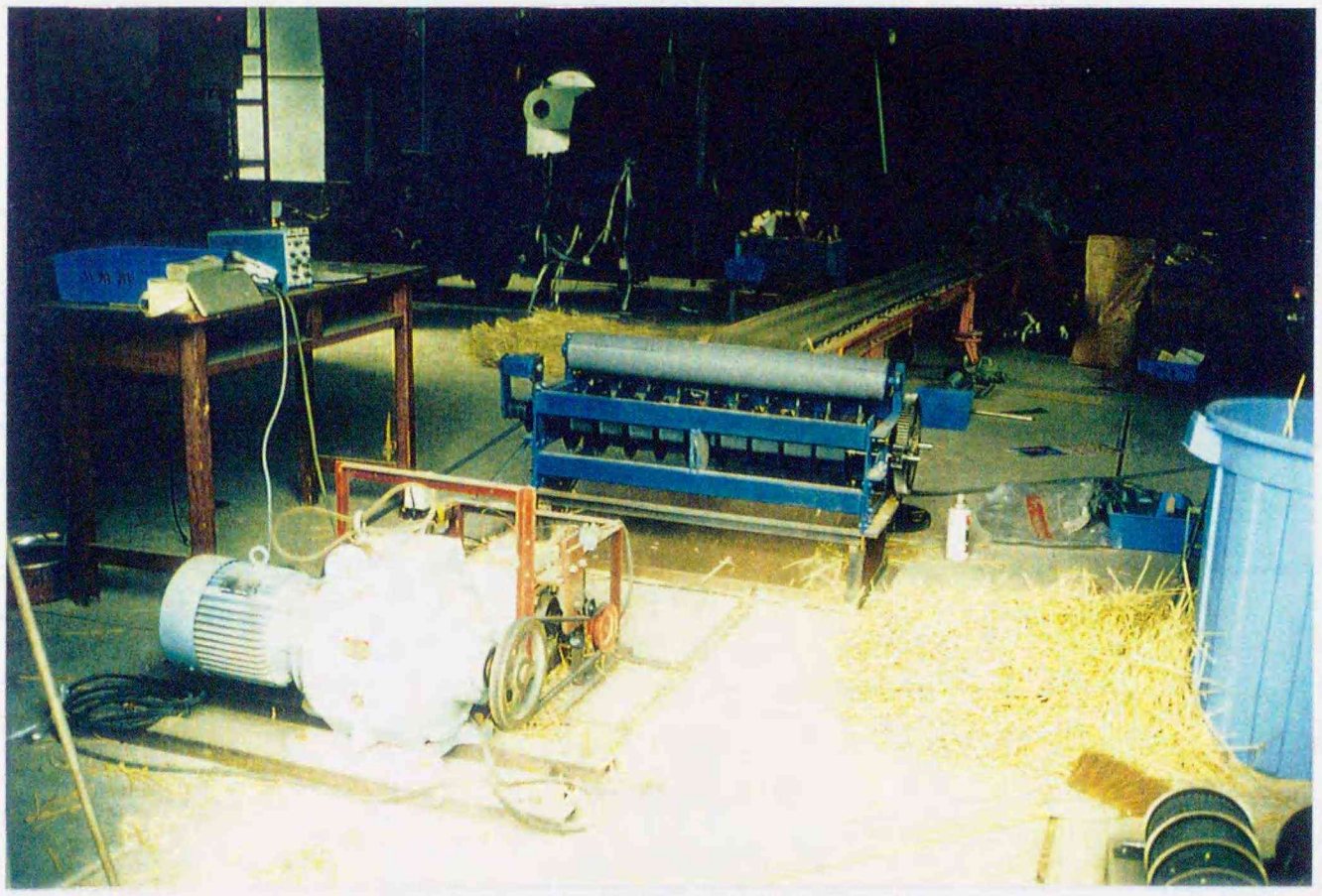
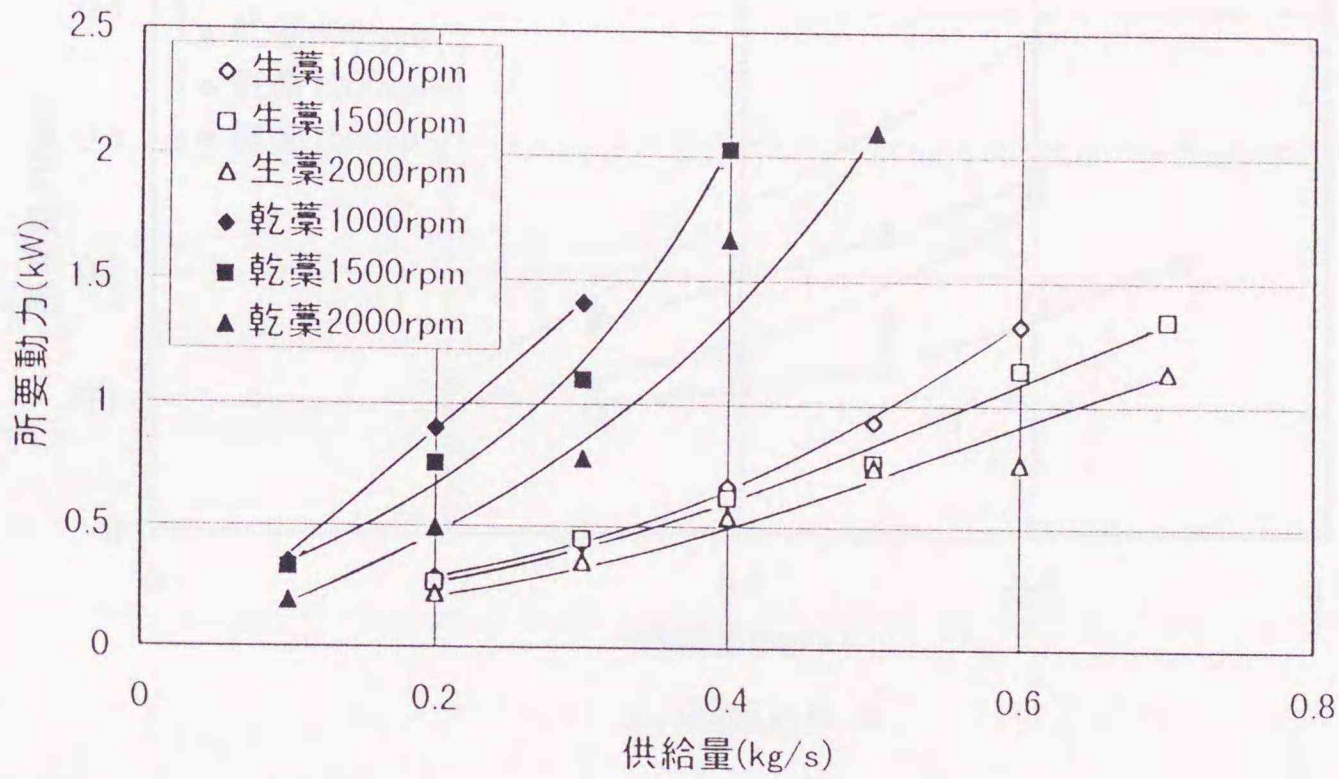


図5-23　負荷特性試験の状況

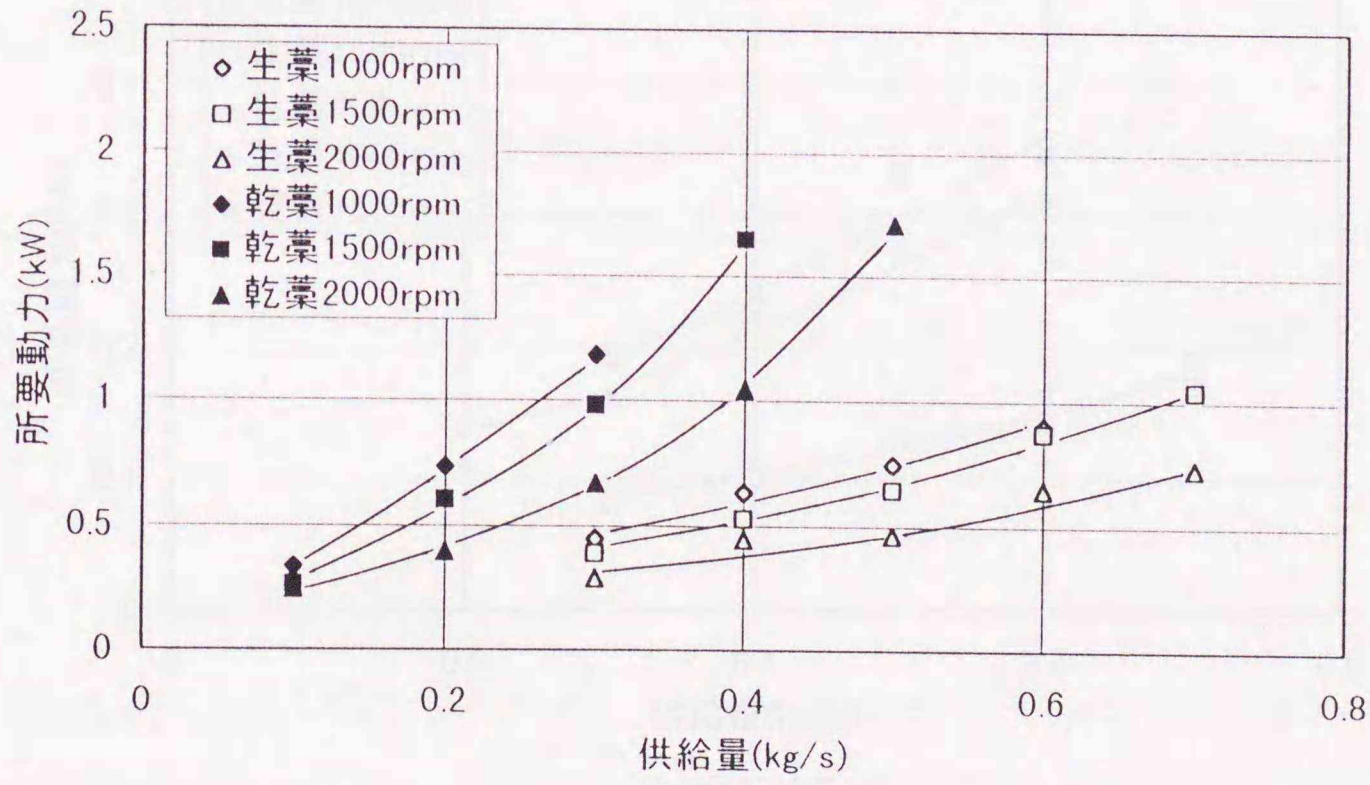
2）試験結果

試験の結果を図5-24（4号機）と図5-25（対照機）に示す。

麦藁を切断するために必要な所要動力は，4号機，対照機ともに藁の供給量が増加するほど高かった。また，生藁より乾藁の方が約2～3倍所要動力が高くなったが，これは，同じ供給量では生藁の方が水分が高いためであると考えられた。



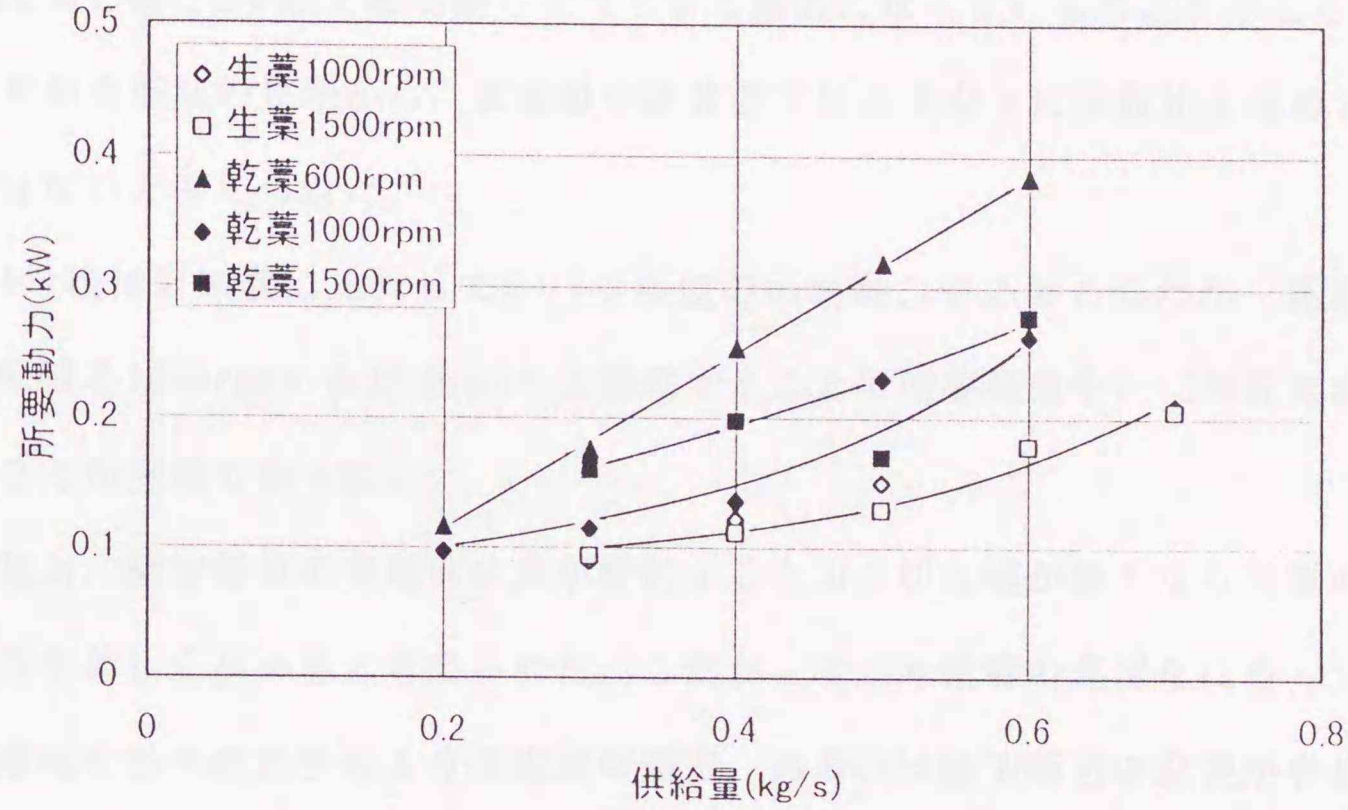
(a)回転比6．8



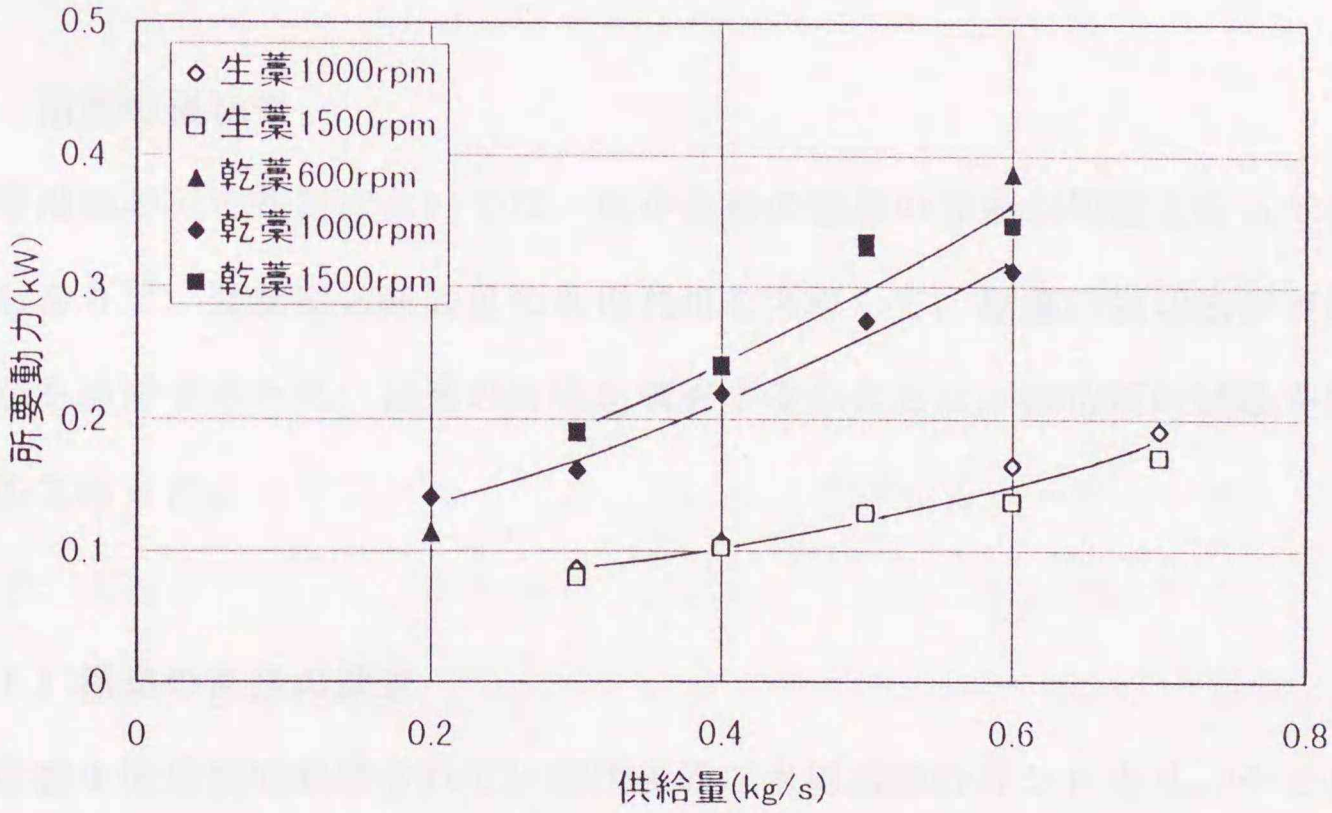
(b)回転比5．0

図5-24　4号機の負荷特性

両機とも，高速軸および低速軸の回転数が高いほど所要動力が減少する傾向が見られたが，4号機では特にその傾向が高かった。ディスクカッタのこのような特徴は他の実験結果[38)75)]とも一致しており，麦藁縦切断装置もこれと同様の特徴を有することがわかった。



(a)回転比6．8



(b)回転比5．0

図5-25　対照機の負荷特性

対照機では，高速軸と低速軸の回転比が5.0と6.8の場合，藁切断時の所要動力に顕著な差は見られなかったが，4号機では回転比が高いほど所要動力が高くなる傾向が見られた。

この結果は，高速軸と低速軸の回転比が必要以上に高い場合，麦藁縦切断装置は同じ藁を2度以上縦切断しようとする構造になっていることを示しており，所要動力低減の見地から，麦藁縦切断装置では必要以上に回転比を高めるべきではないと考えられた。

4号機は対照機に比較して3～6倍程度の所要動力を必要としたが，高速軸の回転数を1000rpmから2000rpmへと倍増することで所要動力を2～3割程度減少することが可能であった。

なお，縦切断刃の突起部の角が摩耗すると刃の切れ味が悪くなり装置の所要動力を著しく高めると考えられた。したがって，本装置の実用化に当ってはこの摩耗を最小限にするような素材の選定，あるいは縦切断刃の交換が容易な構造の設計に留意すべきであると考えられた。

8　稲藁の縦切断

寒冷地の一毛作田においては，代かき後の稲藁の浮遊が問題となっている場合もあり[2)]，麦藁縦切断装置の汎用利用を考慮して，稲藁の縦切断が可能かどうかを検討するため，稲藁の直径を調査するとともに，縦切断の試験を以下の方法で行った。

1）稲藁の直径の調査

近畿中国地域で栽培されている代表的な水稲品種のコシヒカリ，ヤマビコ，コガネマサリ，日本晴，ホウレイ，黄金晴の生藁各100本を供試し，地表面から10cmおきに直径を測定した。その結果は図5-26に示すとおりで，水稲藁の直

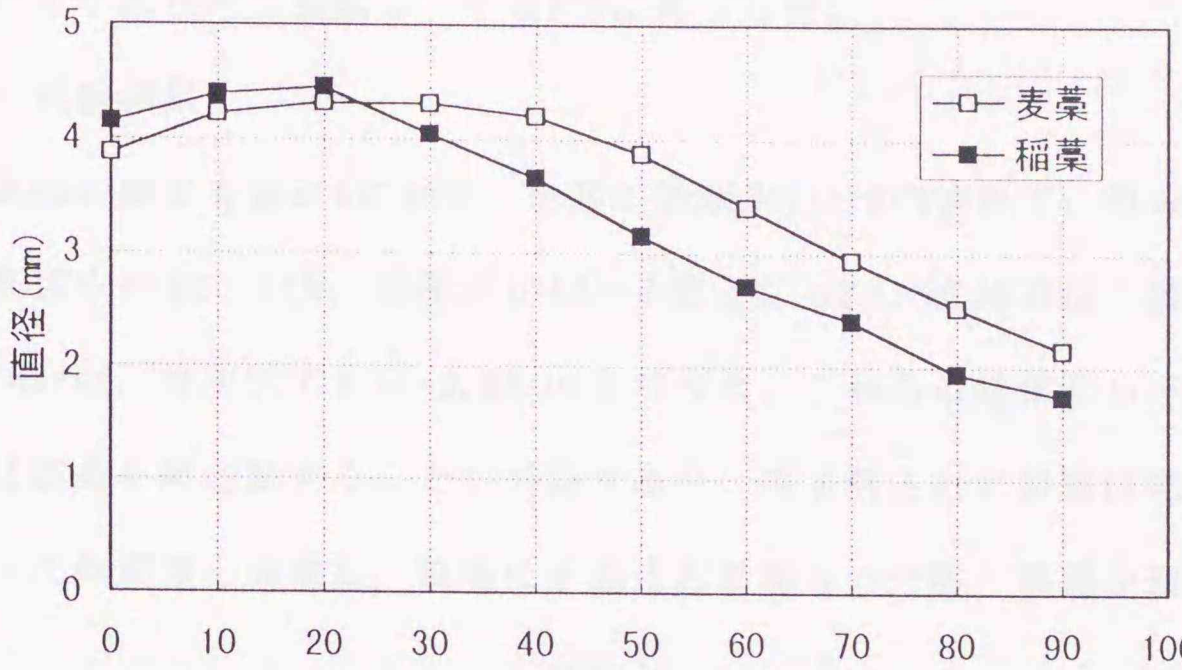


図5-26　稲藁および麦藁の直径の比較

径は地上高20cmまでは4～4.5mmであり，穂先に向かってほぼ直線的に細くなり，穂首付近で1.5～2mmであった。

図5-26には，すでに調査した麦藁の直径の平均値も併記したが，麦藁と比較した場合の稲藁の直径は，地上高30cmまではほぼ同じ太さであり，それ以上は0.5～0.7mm程度細かった。以上の結果，刃の形状を変更しなくても麦藁縦切断装置で稲藁を縦切断することは可能であると思われた。

２）縦切断試験

（１）試験方法

水稲日本晴の生藁約500gを4号機を用いて縦切断処理した。縦切断されているかどうかの評価方法については，稲藁は麦藁より吸水（保水）能力が優れており，麦藁と同様に沈下率を測定した場合，処理の結果に差が出にくいと考え，天日乾燥して乾燥の速度（乾減率）を測定する方法を採用した。乾燥方法は，処理した生藁約500gを日当たりの良いむしろの上に1㎡の広さに均一に広げて置き，一定時間乾燥の後に水分を測定することとした。対照区として，同量の生藁を押し切りで10cmの長さに切断し，むしろの上に広げた。試験は3回行い，

各試験とも午前10時に開始し，午後3時に終了した。

（２）試験結果

乾燥試験の結果を表5-6に示す。生藁の初期水分は60%前後で，乾燥後の水分は縦切断区が約19～21%，対照区が42～44%となった。乾減率は，縦切断区で8.0～8.8%/hr，対照区で3.4～3.8%/hrとなった。これらの結果から，麦藁縦切断装置は稲藁を縦切断することが可能であり，縦切断された稲藁は乾燥が速く，縦切断された麦藁と同様に，圃場にすき込んだ場合の分解・腐熟が速いと思われた。

表5-6　縦切断された稲藁の乾減率

期日	10月14日		10月19日		10月20日	
処理区	縦切断区	対照区	縦切断区	対照区	縦切断区	対照区
試験開始時水分(%)	59.8	59.8	63.2	63.2	63.3	63.3
試験終了時水分(%)	19.8	42.8	19.1	44.2	21.1	44.5
乾減率(%/hr)	8.0	3.4	8.8	3.8	8.4	3.8
試験時間内平均日射量 (cal/cm²/hr)	31.9	31.9	40.8	40.8	40.3	40.3

注）1988年度に実施した

９　本章のまとめ

麦藁縦切断装置の実用化に向けて，溝の深さ，形状，構造の異なる麦藁縦切断装置2～4号機の開発と性能試験を行った。また，縦切断刃の溝の深さを再検討して，麦藁縦切断装置5～6号機を開発し性能試験を実施した。最後に，麦藁縦切断装置の動力負荷特性を調査し，稲藁の縦切断についても検討した。結果の概要は以下の通りである。

１）厚さ約2mmの板状の縦切断刃を試作して縦切断性能を検討した結果，十分な枚数の縦切断刃を用いることにより精度の高い縦切断が可能であった。しかし，縦切断刃やスペーサーの厚みを極めて均一に加工する必要があると考え

られた。

2）麦藁の直径を調査した結果，縦切断の対象となる節の多い藁の下位部の直径は3.0～4.8mmで，縦切断刃の溝の深さは1.5～1.8mm，また，高速軸縦切断刃と低速軸縦切断刃間の隙間は0～0.5mmとすることが適当であると考えられた。

3）麦藁縦切断装置の構造として，高速軸縦切断刃の縦溝と低速軸縦切断刃の突起部を向き合わせ，実質的に縦切断刃間の隙間を広げる構造を検討したところ，縦切断性能は1号機に比べて劣ったものの，麦藁の浮遊率を1%まで下げることが可能であった。

4）麦藁縦切断装置の構造は，回転軸に直径50mm程度の中空丸鋼を用いて，切断中縦切断刃間に挟まれる麦藁による軸のたわみをできるだけ小さくし，高速軸縦切断刃の縦溝と低速軸縦切断刃の突起部を向い合うように配置し，縦切断刃の溝の深さを1.5～1.8mmとすることが実用的であると考えられた。また，麦藁縦切断装置の性能を十分に引き出すためには，代かき前の湛水期間を最低3日間とり，浅水で代かきすることが重要であると考えられた。

5）4号機の負荷特性について検討した結果，4号機は対照機に比較して3～6倍程度の所要動力を必要としたが，高速軸の回転数を1000rpmから2000rpmへと倍増することで所要動力を2～3割程度減少することが可能であった。

6）4号機を用いて稲藁の縦切断を試みたところ，稲藁（生藁）を縦切断することは可能であり，天日乾燥した場合，縦切断された稲藁の乾燥はきわめて速かった。縦切断された稲藁は分解・腐熟が速くなるとともに，本装置によっ

て寒冷地の一毛作田における代かき後の稲藁の浮遊を減少させることができると考えられ，麦藁縦切断装置は稲藁にも適用できると考えられた。

摘　要

稲麦二毛作体系では，麦のコンバイン収穫後に麦藁を細かく切断して圃場に散布した場合，水稲作付のための耕うん・代かき後に，圃場に散布した麦藁が土壌の表面を覆って，田植えの際に浮き苗，転び苗など移植精度の低下，欠株発生の原因となる。また，湛水面上に浮遊する麦藁が風によって畦畔ぎわに押し流され，正常に植え付けられた苗を押し倒してしまう結果となる。

本研究は，①狭小な日本の国土において，稲麦二毛作は時間的にも空間的にも農地の利用を最も高めることのできる優れた技術であること，②高度に機械化・技術化された稲麦二毛作体系における作業上の問題点は，藁の処理方法であること，③本来稲麦の藁は圃場から搬出し，飼料または敷料として有効に利用し堆肥として圃場に還元することが望ましいが，それができない場合，焼却するのではなく，有機物としてそのまま圃場に戻すのが最低限の利用法である，との認識に立ち，稲麦二毛作体系での代かき後の麦藁の沈下を促進する技術の開発とその機械化・実用化を目指すことによって，稲麦二毛作体系における麦藁処理の問題の解決の一端を担うことを目的とした。

1　第Ⅰ章では，本研究の背景と目的，つまり稲麦二毛作と藁処理をめぐる諸問題について述べた。

1）わが国における稲麦二毛作の変遷と現状について，歴史的経過と地域別動向について述べ，本研究の背景の時間的・空間的な広がりについて明らかにした。

2）稲麦二毛作の気候的特徴と技術的特徴および問題点について述べ，本研

究課題発生の原因を明らかにした。

3）藁処理をめぐる現在までの研究の経緯を紹介し，本研究の重要性に言及するとともに，本研究の着眼点を明らかにした。

2　第II章では，麦藁の沈下特性を検討するため，麦藁の品種，部位および処理方法などを変えた場合の麦藁の沈下率を調査した。また，実際の圃場における散布藁と，耕うん・代かき後の浮き藁の節の有無を調査した。その結果，以下のことを明らかにした。

1）一定の長さに切断した藁の沈下率は，節有り藁と節無し藁では全く異なり，節無し藁は節有り藁よりはるかに沈下が速かった。両者とも稈が重く直径の小さい（稈壁が緻密で厚い）方が沈下しにくく，稈の表面のワックスの量は沈下率にはあまり関係が見られなかった。

2）麦藁の沈下率は，長さの短い方が高かったが，縦切断処理をした藁は長さに関係なく沈下が速かった。縦切断藁の沈下率は，節の有無，稈の長さに関係なく3日目でほぼ95%に達した。

3）灌水処理は縦切断藁に対して沈下を促進する効果が大きかった。また，水温が高い方が沈下が速かった。

4）圃場に散布した麦藁の中で，耕うん・代かき後に水面上に浮遊する藁は，節有り藁の約15%，節無し藁の1%であり，耕うん・代かき後の麦藁の浮遊量を減少させるためには，節有り藁の沈下を促進する必要があると考えられた。

3　第III章では，麦藁の浮遊と沈下を理論的に解析するため，吸水による麦藁の質量，体積，実比重および水分の増加と処理日数，沈下率の関係を調査し，以下のことを明らかにした。

1）麦藁の形状のモデル化を行い，麦藁の寸法（長さ，外径，厚さ）から麦

藁の体積および実比重を計算した。その結果，風乾時（水分6%）の麦藁の実比重は節無し藁で0.37，節有り藁で0.34～0.35であった。また，風乾時の質量に対する完全吸水後の質量は，節無し藁で3.68～3.81倍，節有り藁で3.94～4.05倍であった。

2）沈下率を調査した麦藁を縦切断し，再び沈下率を調査したところ，全ての形状の麦藁で沈下率が増加した。したがって，実比重が水より重く本来沈下すべき麦藁も稈の内側の気泡により浮遊していると考えられた。

3）麦藁の真比重を木材の真比重と同じ1.5と仮定して，完全吸水後の麦藁の体積，実比重，水分を計算したところ，実比重は1.08～1.09，水分は74.4～76.8%で，風乾時の体積に対する完全吸水後の体積増加比は1.25～1.29倍となった。

4）吸水試験後の麦藁の実比重と沈下率の関係は，実比重が0.85以下の場合は沈下率は0%で，実比重が1前後では沈下率は30～70%と幅があり，沈下率が100%付近では実比重は1.0～1.12であった。麦藁の水分と沈下率の関係は，水分が70%以下では沈下率は30%以下で，水分が75%以上になると沈下率も70%以上となった。しかし，水分が70～75%の範囲では沈下率は大きく変動した。

5）麦藁の実比重は，節2個藁以外は吸水開始後2日目で0.8以上となった。水分は2日目で60%以上となり，稈の内部の気泡を抜いて強制的に水中に沈めた麦藁の方が実比重および水分ともに大きかった。

6）麦藁が水中に沈下しないのは，麦藁の吸水が遅く実比重が1より大きくなるのに時間がかかるからではなく，稈の内部の気泡の存在がみかけ比重を小さくしているためであり，麦藁を縦切断することによって麦藁の沈下が促進されるのは，稈の内部の気泡が除去されるためであると考えられた。

4　第Ⅳ章では，麦藁の縦切断の原理を明らかにし，麦藁を連続的に縦切断す

る定置試験装置を試作して性能を検討した。また，自脱コンバイン排藁カッタにおいて，麦藁を一定の長さに切断（横切断）すると同時に，麦藁を縦切断する装置を試作し，圃場において性能を検討した。

1）麦藁の縦切断方法の原理を明らかにし，縦切断刃の半径，溝の深さ，縦切断刃間の隙間，麦藁の直径から縦切断刃の回転比を求める式を導いた。

2）麦藁を連続的に縦切断することのできる麦藁縦切断用定置試験装置を試作し，回転比と縦切断刃間の隙間を変化させて装置の性能を検討した。その結果は理論値とも一致し，試作機によって処理された麦藁の沈下は速く，軸の回転比も1:5 程度で十分であると認められ，市販のディスクカッタを改造することで，麦藁の縦切断が可能なことの見通しを得た。

3）自脱コンバイン装着型の麦藁縦切断装置1号機を試作し，圃場で麦藁処理試験を行ったところ，藁の一部停滞を除いて作業は順調であり，連続して麦藁縦切断作業ができることを確認した。また，1号機によって処理した麦藁の耕うん・代かき後の麦藁の浮遊率は0.5%であり，1号機の性能は極めて高いと判断された。

5　第Ⅴ章では，麦藁縦切断装置の実用化に向けて，溝の深さ，形状，構造の異なる麦藁縦切断装置2～4号機の開発と性能試験を行い，縦切断刃の溝の深さを検討した後に，麦藁縦切断装置5～6号機を開発し性能試験を行った。また，麦藁縦切断装置の動力負荷特性を調査し，稲藁の縦切断についても検討した。結果の概要は以下の通りである。

1）厚さ約2mmの板状の縦切断刃を試作して縦切断性能を検討した結果，十分な枚数の縦切断刃を用いることにより精度の高い縦切断が可能であった。しかし，縦切断刃やスペーサーの厚みを極めて均一に加工する必要があると考えられた。

2）麦藁の直径を調査した結果，縦切断の対象となる節の多い藁の下位部の直径は3.0～4.8mmで，縦切断刃の溝の深さは1.5～1.8mm，また高速軸縦切断刃と低速軸縦切断刃間の隙間は0～0.5mmとすることが適当であると考えられた。

3）麦藁縦切断装置の構造として，高速軸縦切断刃の縦溝と低速軸縦切断刃の突起部を向き合わせ，実質的に縦切断刃間の隙間を広げる構造を検討したところ，縦切断性能は1号機に比べて劣ったものの，麦藁の浮遊率を1%まで下げることが可能であった。

4）麦藁縦切断装置の構造は，回転軸に直径50mm程度の中空丸鋼を用いて，切断中縦切断刃間に挟まれる麦藁による軸のたわみをできるだけ小さくし，高速軸縦切断刃の縦溝と低速軸縦切断刃の突起部を向い合うように配置し，縦切断刃の溝の深さを1.5～1.8mmとすることが実用的であると考えられた。また，麦藁縦切断装置の性能を十分に引き出すためには，代かき前の湛水期間を最低3日間とり，浅水で代かきすることが重要であると考えられた。

5）4号機の負荷特性について検討した結果，4号機は対照機に比較して3～6倍程度の所要動力を必要としたが，高速軸の回転数を1000rpmから2000rpmへと倍増することで所要動力を2～3割程度減少することが可能であった。

6）4号機を用いて稲藁の縦切断を試みたところ，稲藁（生藁）を縦切断することは可能であり，天日乾燥した場合，縦切断された稲藁の乾燥はきわめて速かった。縦切断された稲藁は分解・腐熟が速くなるとともに，本装置によって，寒冷地の一毛作田における代かき後の稲藁の浮遊を減少させることができると考えられ，麦藁縦切断装置は稲藁にも適用できると考えられた。

謝　辞

本研究の取りまとめに当たり，懇切な御指導を賜った北海道大学農学部高井宗宏教授に深甚なる謝意を表します。また，取りまとめに当たって有益な御助言と御指導を賜った北海道大学農学部寺尾日出男教授，中世古公男教授，端俊一助教授に深く感謝の意を表します。また，取りまとめに当たり有益な御助言を賜った農業研究センター機械作業部の唐橋　需部長，小倉昭男作業システム研究室長，前石東宣明水田農作業研究室長に感謝致します。

本研究の遂行当時，中国農業試験場作物開発部におられた北条良夫部長，渡辺　泰部長には多大の励ましと御助言を賜り深く感謝致します。

また，本研究の遂行当時，中国農業試験場作物開発部機械化研究室におられた後藤美明研究室長，故天野憲典研究室長，現食品総合研究所食品工学部の井尻　勉流通工学研究室長，現北海道農業試験場作物開発部農業機械研究室の柴田洋一主任研究官には，終始絶大な御協力と御助言を頂いた。また，同研究室の友納文子氏には，調査，データの整理等などで御協力頂いた。同じく企画連絡室業務科の渡辺美智夫，松井輝徳，清水淳弘の各技官には機械の製作・改良について御協力を頂いた。記して謝意を表します。

岡山市金田での現地試験では，現地農家大橋鹿一氏に御協力頂いた。また，岡山県農業試験場での試験では，同作物部河本恭一主任研究員に御協力頂いた。

ここに記して，関係各位に謝意を表します。

引用文献

緒論

1）久松潜一，佐藤謙三編：国語辞典，角川書店，143，1975

2）上出順一：東北地方における稲わら処理の現状と問題点，農機学会誌38(3)，418-422，1976

3）農林水産省農産園芸局農産課：稲作関係資料，248，1982

4）廣瀬可恒，大原久友，森本　宏，菊池脩二，新澤信男：酪農講座5，朝倉書店，40-41，1961

5）田坂幸平，柴田洋一，後藤美明，井尻　勉：自脱コンバイン排藁カッタの改良に関する研究（第1報），農機学会誌54(5)，47-56，1992

6）田坂幸平，柴田洋一，天野憲典：自脱コンバイン排藁カッタの改良に関する研究（第2報），農機学会誌54(6)，31-40，1992

7）田坂幸平：麦わらの沈下促進技術の開発，ＡＦＦ，44-45，1988

8）日本農業新聞，1988年7月13日

9）田坂幸平，後藤美明：コンバインに装着する藁処理装置，特許第1917852号

第Ⅰ章

10）吉田美夫：農業技術体系作物編4ムギの日本史，農山漁村文化協会，1976

11）安藤廣太郎：日本古代稲作史研究，農林協会，212-219，1959

12）古島敏雄：日本農業技術史（上巻），時潮社，233-241，1947

13）岡　光夫：日本農業技術史，ミネルバァ書房，69-71，1988

14）農林水産省統計情報部：平成5年産作物統計，178-179，1995

15）農林省統計調査部：第22-52次農林省統計表，1947-1977

16）農林水産省統計情報部：第57-67次農林水産省統計表，1982-1992

17）農林水産省農産園芸局：新・日本の麦，地球社，1982

18）農林省農林経済局統計調査部：農業経営の形態別農家分布，1959

19）農林省統計調査部：作物統計（昭和34年度），48-49，102-103，1960

20）農林省統計情報部：昭和48年産作物統計NO.16，1974

21）農林水産省統計情報部：平成2年産作物統計NO.33，1992

22）吉田武彦：水田軽視は農業を亡ぼす，農山漁村文化協会，93-102，1978

23）森下昌三，堀尾房造，佐々木泰弘，関沢啓朗：わが国の水田における2毛作，2年3作体系の栽培北限に関する研究，農研センター研報7，83-100，1987

24）農林水産省統計情報部：作物統計NO.31，285，1989

25）農林水産技術情報協会：低コスト米麦生産技術モデルと適用，7，1985

26）田中　修：稲麦・養蚕複合経営の史的展開，日本経済評論社，30-34，1990

27）生沼曹喜：機械化農村，批判社，1949

28）和田一雄：耕耘機誕生，富民協会，1979

29）労働科学研究所：農民の早老に関する研究（第3報），251-255，1956

30）川崎　健，金谷　豊，富田　貢：コンバイン排わら搬出法の提案，農業技術31(5)，198-204，1976

31）佐藤清美：稲わら収集と飼料化技術の動向(1)，農業技術31(2)，49-52，1976

32）農林水産省農産園芸局農産課：稲作関係資料，224，1984

33）農林水産省農産園芸局農産課：稲作関係資料，189，1993

34）前田耕一：農業機械化発展史，農業機械化発展史刊行会，177-179，1994

35）江崎春男：穀類収穫機（グレーン・ハーベスタ），（株）イセブ，21-46，

1986

36）市川友彦，杉山隆夫：汎用コンバインの開発研究（第1報），農機学会誌58(3)，77-86，1996

37）市川友彦，杉山隆夫，高橋弘行：汎用コンバインの開発研究（第2報），農機学会誌58(4)，87-94，1996

38）山口廣見：自脱型コンバインの技術現状と課題(5)周辺機器，農業機械学会誌49(3)，277-281，1987

39）鈴木正肚：排わら処理部の改良動向，機械化農業1980年8月，5-9，1980

40）農林水産技術会議事務局：コンバイン収穫に伴う藁稈類処理方法とその後作および地力に及ぼす影響に関する研究，1972

41）中国地域技術連絡会議事務局：水田における稲，麦わらの施用法に関する研究，中国地域共同研究成果集録第5号，1970

42）農林水産技術会議事務局：稲麦を主体とする合理的作付体系の確立に関する研究，105-117，1984

43）農業研究センター編：地域低コスト稲作技術体系確立試験研究昭和59～62年度試験研究成績書，1985～88

44）栃木喜八郎，吉沢　崇，山口正篤，橋本俊一：水稲晩植栽培における麦わら施用に伴なう水稲生育とその対応，栃木農試研報26，9-16，1980

45）川田　登，阿部盟夫，松永　隆：火山灰水田における効率的水利用に関する研究，栃木農試研報23，45-56，1977

46）金　忠男：麦わらすき込みによる暖地水稲の安定栽培，農業技術37(5)，203-207，1982

47）脇本賢三，清野　馨：麦稈施用に伴う水稲の初期生育障害とその回避技術の検索，九州農試報告22(4)，569-589，1983

48）井沢敏彦，小島　元，福永雅一，井上隆雄，丹羽裕司，谷口　学：麦跡地

における水稲の機械化栽培法に関する研究（第3報）麦わらすき込みの影響と水稲栽培法，愛知農総試研報13，68-76，1981

49）下川博通，土山健次郎，森山義一：水田における生わらの施用と作物生育について，福岡農試研報11，42-47，1973

50）六本木和夫，秋本俊夫，鈴木清司：稲・麦わらの連用が作物生育及び水田土壌の肥沃度に及ぼす影響，埼玉農試研報42，17-60，1987

51）冨久保男，小西昇一，岡武三郎：稲麦一貫栽培体系におけるわらすき込みの影響について，近畿中国農業研究73，53-58，1987

52）吉沢　崇，中山喜一：稲・麦わら施用水田の土壌肥料的研究，栃木農試研報29，49-60，1983

53）近藤晃，荒井文男，太刀川洋一，飯塚国夫，金井博，阿部邑美，島田忠男：麦稈すき込みによる水稲の生育阻害とその対策，群馬農試報20，1-10，1980

54）吉沢孝之：水田における稲，麦わらの施用とその効果(1)，農業技術26，349-351，1971

55）吉沢孝之：水田における稲，麦わらの施用とその効果(2)，農業技術26，407-413，1971

56）吉沢孝之：水田における稲，麦わらの施用とその効果(3)，農業技術26，456-461，1971

57）間谷敏邦，平沢信夫，阿部祥治，岡野博文，坂本　旬：二毛作北限地帯における稲・麦２年３作の省力安定増収技術に関する研究，茨城農試研報20，105-145，1979

58）森田林逸，金忠男，曽我義雄：暖地における稲・麦作付体系の確立（第1報）稲わら・麦わらすき込みによる水稲・裸麦の中小型機械化体系の確立，四国農試報42，13-35，1984

59）大塚一雄，小川信太郎，江本吾勝：稲麦二毛作栽培体系における麦わら処理に関する研究，埼玉県農業試験場研究報告38，15-38，1982

60）青木弘二，沓名吉弘，福永雅一：麦跡地における水稲の機械化栽培法に関する研究（第1報）麦わら処理と代掻き法，愛知農総試研報A10，63-70，1978

61）金子一也，中島東吾，石井四郎，折茂佐重樹：麦稈のすき込み処理法と田植機移植について，群馬農試報20，21-30，1980

62）農林省農事試験場：昭和50年度農業機械総括検討会議成績概要集，43-46，1976

63）九州農試：昭和51年度九州地域試験研究打合せ会議資料（農業機械），17-18，1976

64）坂本五十夫，馬場崎一俊：生わらすき込み技術の新展開-圧砕により沈降促進，機械化農業1977(2)，23-26，1977

65）宮沢福治：麦稈処理と耕うんの能率化，機械化農業1978(2)，5-7，1978

66）川崎　健，伊藤茂昭：麦わらすき込み用ディスク型代かき機の開発(1)，農業技術34(4)，166-169，1978

67）川崎　健，伊藤茂昭：麦わらすき込み用ディスク型代かき機の開発(2)，農業技術34(5)，213-215，1978

68）九州農試：昭和49年度九州地域試験研究打合せ会議資料（農業機械），9-10，1975

第Ⅱ章

69）木原　均（編）：小麦の研究，養賢堂，148-149，1954

第Ⅲ章

70）農業土木学会編：農業土木ハンドブック，丸善株式会社，1130，1979

71）物理学辞典編集委員会編：改訂版物理学辞典，培風館，1715，1992

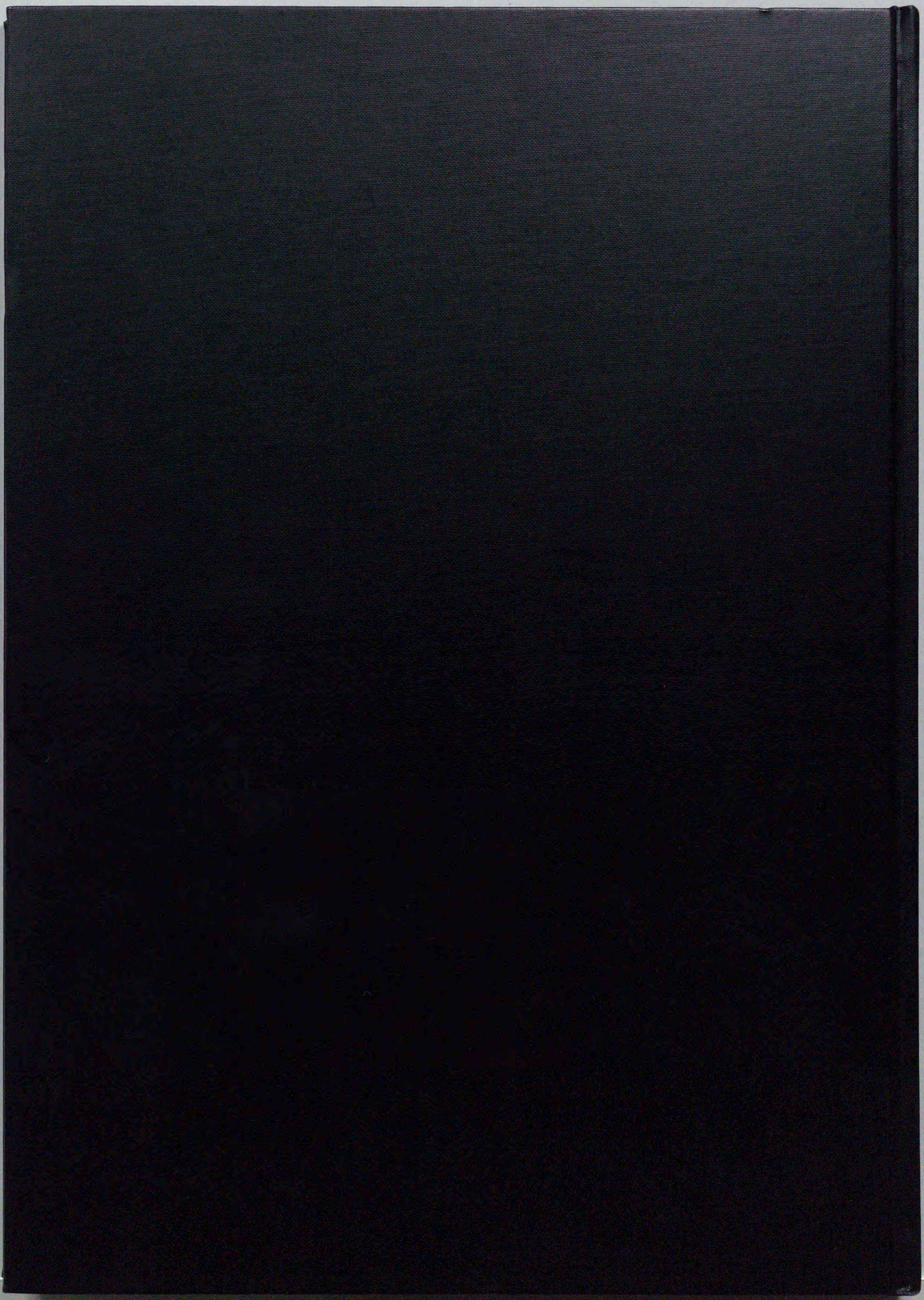
72）東京農工大学農学部林学科編：新版林業実務必携，朝倉書店，473，1984

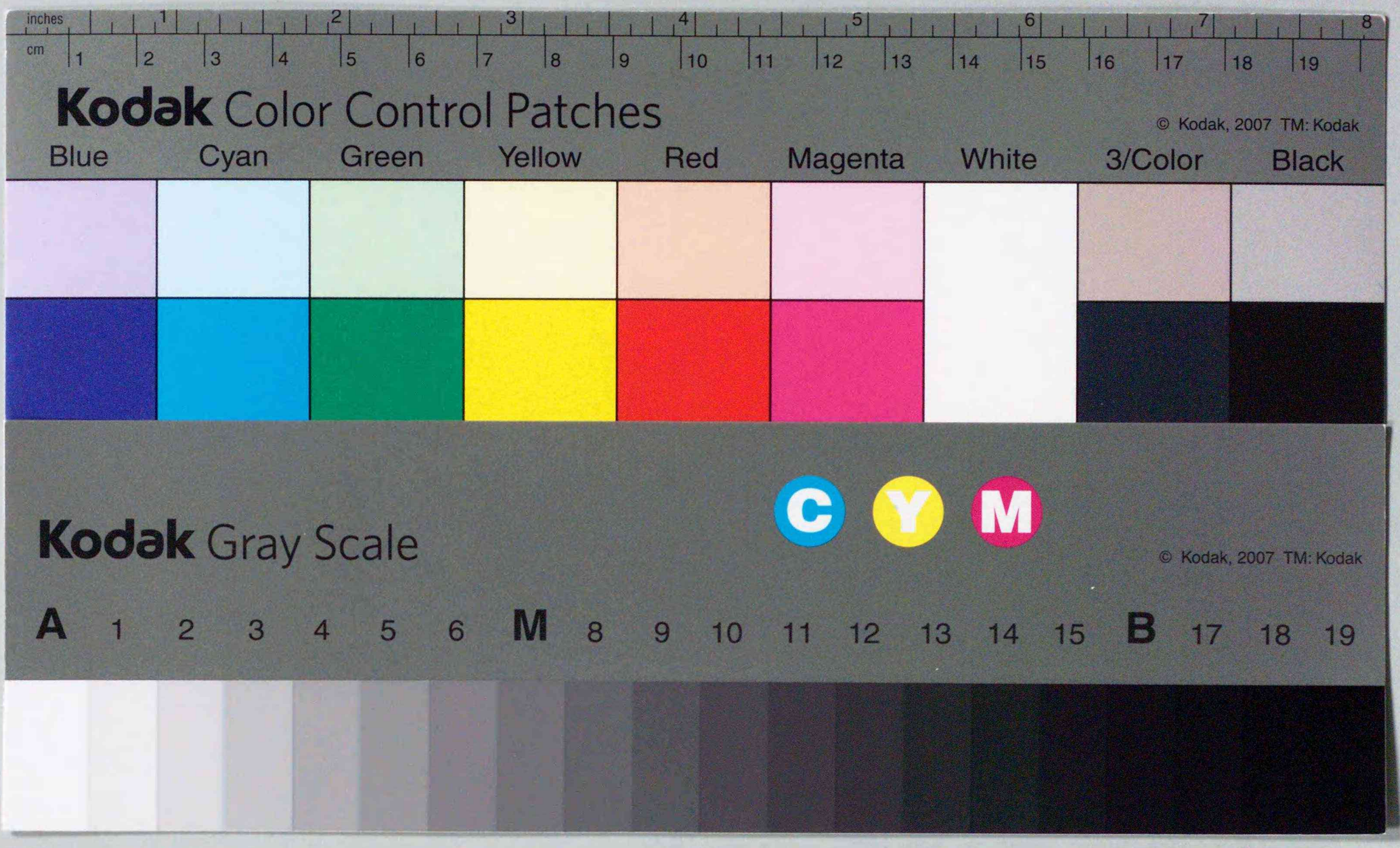
第Ⅴ章

73）高木清継，中江克己，甲斐俊二郎：代かき水深が長わらのすき込みに及ぼす影響について，九州農業研究41，170，1979

74）諸遊英行，長野間宏，神田健一：麦わら施用が水稲の生育と土壌中の化学変化に及ぼす影響(1)水稲に対する麦わら連用試験，農事試研報35，179-205，1981

75）土屋功位，上出順一，赤瀬章：コンバインカッタに関する研究，文部省科学研究費（一般研究Ｂ）研究成果報告書，6-7，1979




inches
cm
Kodak Color Control Patches
© Kodak, 2007 TM: Kodak
Blue
Cyan
Green
Yellow
Red
Magenta
White
3/Color
Black
Kodak Gray Scale
C
Y
M
© Kodak, 2007 TM: Kodak
A
M
B