



Title	風路系牧草常温通風乾燥機に関する実験並びに調査研究
Author(s)	池内, 義則; IKEUCHI, Yoshinori
Citation	北海道大学農学部邦文紀要, 7(1), 72-137
Issue Date	1969-06-30
Doc URL	<a href="https://hdl.handle.net/2115/11789">https://hdl.handle.net/2115/11789</a>
Type	departmental bulletin paper
File Information	7(1)_p72-137.pdf



# 風路系牧草常温通風乾燥機に関する 実験並びに調査研究

池内 義 則\*

(北海道大学農学部農業工学科農業機械学教室)

Mow drying of long hay with unheated forced air

Yoshinori IKEUCHI

(Department of Agricultural Engineering, Faculty of Agriculture,  
Hokkaido University, Sapporo, Japan)

Received January 22, 1969

## 目 次

緒 言 .....	73
第 I 編 総 論 .....	74
第 1 章 牧草の通風乾燥の意義並びにその特徴 .....	74
第 2 章 諸外国に於ける牧草通風乾燥に関する研究 .....	75
第 1 節 アメリカに於ける研究の概略 .....	75
第 2 節 欧州に於ける研究の概略 .....	76
第 3 章 牧草通風乾燥機の種類 .....	76
第 4 章 風路系牧草常温通風乾燥機に関する一般的解説 .....	77
第 5 章 我が国に於ける牧草乾燥の現状 .....	78
第 6 章 本研究をなすに至った動機 .....	78
第 II 編 供試せる風路系常温通風乾燥機の性能に関する基礎的実験調査 .....	79
第 7 章 供試機の構成要素と主要諸元、並びに実験方法と測定器具 .....	79
第 1 節 乾 燥 室 .....	79
第 2 節 風 路 系 .....	80
第 3 節 送風機並びに駆動電動機 .....	81
第 4 節 測 定 器 具 .....	82
第 8 章 供試機の無負荷時に於ける特性 .....	84
第 1 節 主風路内の風速及び静圧の測定法 .....	84
第 2 節 主風路に於ける風量並びに消費電力 .....	87
第 3 節 ラテラル出口に於ける風速分布 .....	89
第 4 節 ラテラル内の静圧分布 .....	92
第 5 節 送風機並びに駆動電動機の特 性 .....	93
第 9 章 考 察 .....	94
第 III 編 風路系常温通風乾燥機による 牧草の乾燥性能に関する実験並びに調査 .....	95
第 10 章 諸 言 .....	95

\* 現在 農畜産加工機械学教室

第11章	供試機のおかれている立地条件に関する調査	95
第12章	供試牧草の積込前の予措に関する調査	97
第1節	供試牧草の種類、性状及び収穫時期に関する調査	98
第2節	供試牧草の収穫並びに積込法に関する調査	98
第3節	予措中の乾燥経過に関する調査	101
第4節	供試牧草の予措に関する総括	102
第13章	供試牧草の乾燥機中に於ける乾燥経過の概略	103
第1節	一番草の乾燥経過に関する調査	103
第2節	二番草の乾燥経過に関する調査	103
第14章	乾燥過程中に於ける供試機の 送風量並びに静圧特性に関する実験	103
第1節	牧草の積み高さ主風路内の送風量並びに静圧との関係	104
第2節	乾燥の進展に伴う主風路内の送風量並びに静圧の変化	104
第3節	堆積牧草表面に於ける簡易風速表示法に関する実験的考察	105
第15章	乾燥過程中に於ける牧草中の静圧分布に関する実験	106
第1節	牧草中の垂直静圧分布	107
第2節	牧草中の水平静圧分布	111
第16章	乾燥過程中に於ける牧草中の温度に関する実験	111
第1節	牧草の積込始めより積込完了までの温度変化	112
第2節	牧草の積込完了後、乾燥仕上りまでの温度変化	113
第3節	牧草中の温度垂直分布と通風による冷却効果	113
第4節	堆積牧草中の水平温度分布	115
第5節	送風中に於ける堆積牧草中の温度変化	116
第17章	乾燥過程に於ける牧草の含水率に関する実験	117
第1節	乾燥の進展に伴う含水率の変化	117
第2節	含水率の垂直分布	118
結 論		119
写真 附 図		123
参 考 文 献		132
英 文 摘 要		133

## 結 言

牧草調製用農機具有畜農業経営と密接な関係を有することは、一般の農機具と農業との間の関係と同様で、前者の発達後者の進歩を促し後者の発達が前者の進歩を促す結果となる。日本農業の特質としてその気候及び地理的条件から最も適地適作と見なされ、圧倒的重要性を占めて来た日本の稲作農業にも、戦後漸く反省の眼が向けられ、数多くの矛盾と欠陥を補うためにその有畜化が取り上げられるに至り、これに伴う牧草調製用農機具の発達を急速に促した。

牧草の貯蔵が家畜の飼育上極めて重要な問題であることは今更云うまでもないが、良質の乾牧草を得ることは

家畜飼料の自給化上サイレージと共に最も有効な手段であり、多くの牧草調製用農機具は刈り取った牧草を栄養的に出来る限り損失を少なくして最良の乾燥状態にもたらし、長期の貯蔵に耐えしめるために使用されるものである。

牧草の通風乾燥機は広い意味で牧草調製用農機具の一種で、天日による自然乾燥法の欠点を補うために、外国では古くから所謂牧草の屋内乾燥 (barn hay drying 又は barn hay curing) として実施され、これに関する研究も数多くなされている。元来、通風乾燥機は、牧草のみならず汎く穀類その他一般の農業生産物の乾燥にも使用され、又工業的にもその応用範囲が極めて広いものであるから、均質な物質については乾燥の機構が一応解明

されている。しかし、牧草の如くその性状が複雑なものを通風によって乾燥する場合は、乾燥の良否に影響を与える多くの条件要素があり、これらの条件要素が各々有機的に関連しているために、一定の設計方式によって乾燥機を設計製作し、これの適正な使用取り扱い操作方式を規格化することは仲々困難である。牧草乾燥機の実例の多い外国に於てさえも現在尚これの理論が確立されていないのはこのためで、けだし如何に優れた性能の送風機を有し、風の分配装置が合理的に設計されていても、牧草の種類、性状、周囲の気象条件に対応して、適切な牧草の積込法と適切な運転操作を行なうは勿論のこと、牧草を乾燥機に積込む前の予措的処理が当を得なければ良好な乾燥効果がえられず、又、地域的な環境によって乾燥機の性能使用法に相違があるためである。

かやうに牧草の通風乾燥機は牧草の刈取りから貯蔵或いは梱包に至る行程のすべての作業が有機的且つ有効適切に行なわなければならないので、その実施に当っては広汎な基礎知識に基づいた豊富な経験と優れた技術が要求され、その研究には莫大な経費と長期に亘る期間と労力を要する。従って、従来の文献には、外国に於ても実験室的な小規模の研究か、若しくは地方的な実施例の概略が記されているに過ぎず、全乾燥行程の詳細な研究は発表されていない。

翻って我が国に於ては、従来、牧草の乾燥は専ら自然乾燥に依存し、牧草の通風乾燥の実施例が極めて少ないために、一般にこれが使用上の経験は勿論、その基礎概念にも乏しく、従ってその研究も殆んど行なわれていない現状である。

かやうな情勢下に於て、北海道のトラピスト大修道院に設備されている風路系牧草常温通風乾燥機は、数少ない我が国の牧草通風乾燥機の一つとして甚だ重要な意義を有するものである。本機は、基本的にはアメリカのT.V.A.標準型と同様であるが、設備後直ちに好結果をもたらしたわけではなく、設計当初の失敗にもめげず、トラピストの担当修道士各位の携まぬ努力と貴重な経験とによって改善され工夫されて、現在の如き立派な成績をあげ得るに至ったものである。然るに、今日まで全貌が明らかにされず、一般に知られていなかった事は、我が国の有畜農業の発達の上に真に惜しむべきことであった。

筆者は、これらの実情に鑑み、我が国に於ける牧草乾燥に対する関心をより一層深め、北海道ひいては我が国全体に於ける牧草通風乾燥方式の一つの重要な基準を確立するために本研究を行なうものである。

本研究は、トラピスト大修道院に設備されている風路系常温通風乾燥機に関する基礎的実験調査の結果から、その性能を解明し、本乾燥機を用いた場合の、牧草の刈取りから乾燥仕上りまでの全過程を詳細に調査し、特に牧草の乾燥過程に及ぼす諸因子について究明、且つそれらの相互の関連性を明らかにした。かくして、トラピストの風路系常温通風乾燥機に対する実験的裏付を行なうと共に、一方、実用的にその使用・取扱い・操作上の諸問題に総合的な考察を試みた。

筆者は、将来、農機具製作者が、本研究を基礎として益々優れた性能ある通風乾燥機を設計製作し、本研究がその普及、発達に大いに寄与せんことを望んで止まぬものである。

又一方、本研究によって、酪農家及び一般有畜農家が牧草の通風乾燥に対する認識を新たにし、正しい通風乾燥機の使用法によって良質の乾燥草を大量に生産されるよう期待して止まない。

本研究の実施に当り、本研究のテーマを与えられ、研究遂行のためにあらゆる面で終始絶大な御指導と御厚情とを賜わった恩師常松栄教授、並びに長期に亘る修院内の滞在を許され、その間御理解ある御支援と御協力を賜わった修道院の大院長始め各修道士の皆様衷心より深い感謝の意を表する次第である。又、実際の実験に際して直接御指導と御援助を賜わった吉田富穂助教授、南部悟助手、四年目学生飯塚崇順君、本実験に使用した測定装置並びに機具の製作に協力してくれた松見高俊文部技官、今野繁夫補助員及び筆者出張中種々御世話になった教室員各位に対し、深甚なる謝意を表す。尚、気象関係で特に御協力を賜わった函館海洋気象台の沢田照夫技師、石別小学校・木古内町役場の職員各位に対して謝意を表する次第である。

## 第I編 総 論

本編に於ては、牧草の通風乾燥の意義及びその特徴を明らかにし、諸外国に於ける牧草乾燥の概略を知ることによって、牧草乾燥機の種類を行ない、従来、我が国では余り見られない風路系常温通風乾燥機に関する一般的な解説を試みた。次に、我が国に於ける牧草乾燥の現状からその問題点を挙げ、本研究をなすに至った動機を述べることとした。

### 第1章 牧草の通風乾燥の意義並びにその特徴

一般に牧草は刈取ったばかりの時には75%程度の水

分を含有しているが、これを天日によって自然乾燥を行なえば、比較的短時間で40~35%まで水分含量を減ずることが可能であり、この程度の水分含量の時には牧草の運搬及び取扱いも容易で、牧草の移動による茎葉の離脱も少ない。しかし、これを直ちに貯蔵に移すときは、水分が多過ぎるためカビの発生や腐敗の原因になるので更に水分含量を20%以下にしなければならない。自然乾燥のみによって牧草の水分含量を20%以下に下げ、貯蔵に適するようにするには、気象条件の良い所でも長時間を要し、その間の雨露による栄養分の流亡は決して少なくない。又、圃場に於て此の程度まで乾燥を進めると、牧草は折損し易く移動や運搬による機械的な茎葉損失が非常に多くなる。

牧草の人工通風乾燥は強制通風乾燥 (forced air drying) と云われ、上述の自然乾燥の欠点を補うために発達したもので、牧草を圃場で刈倒した後、ある程度予乾を行なってこれを乾燥室に運び、ここで送風機及び種々の空気分配装置からなる乾燥機を用い牧草中に強制的に風を送ることによって貯蔵に適する水分含量まで乾燥するものである。乾燥室は多くは牛舎の二階とか納屋を利用するので、牧草の通風乾燥は屋内乾燥とも呼ばれている。送風による乾燥は、通常は常温の空気 (unheated air 又は cold air) を送るのであるが、加熱空気 (heated air 又は warm air) を利用する場合もあり、この場合、乾燥機は多くは移動式になっている。

かように牧草の通風乾燥は自然乾燥の短所を補って良質の牧草を生産する重要な意義を有するものであるが、その特徴とする所は次の如くである。

1. 圃場に於ける乾燥時間が短いということが、牧草の雨に当る危険を少なくし、従ってその栄養分の損失を減ずることになる。

2. 牧草を自然乾燥によって完全に乾燥するまで圃場に放置すれば茎葉の機械的損失は莫大であるが、通風乾燥に於ては牧草の生乾きの中に収納されるので、これらの機械的損失を減じ、ひいては牧草の収量を増大せしめる。従って此の損失を減少せしめるだけでも送風機の電力費その他の経費を補って余りあるものである。

3. 牧草の圃場に於ける反転回数や山積みの回数が少なく、総体的に労働時間を短縮し労働能率を上げることが出来る。

4. 牧草の飼料価値は刈取り時に於ける成熟度によって大なる影響を受け、過熟になると栄養価値が低下する。しかし、通風乾燥によれば飼料価値の最も大きい時期に牧草を収穫しその過熟を避けることが出来る。

5. 通風乾燥に於ては、圃場で牧草を調製する期間が短いので塵埃の附着が少なく、通風による冷却作用のために萎凋も少なく従って製品の色沢、香氣も良好である。

6. 貯蔵中の乾牧草は屢々異常高熱を発生して火災の原因になることがあるが、通風によってこれを未然に防ぐことが出来る。

通風乾燥は、かくの如く多くの特徴を有する故に、外国では早くから実用に供せられているが、我が国に於ては未だ2, 3の実例があるのみである。しかし、我が国のように雨の多い気候の地域に於てこそ牧草の通風乾燥の意義が大であり、将来大いに発展せしめなければならないと思う。

## 第2章 諸外国に於ける牧草通風乾燥に関する研究

諸外国に於ける牧草の通風乾燥の歴史は可なり古く<sup>40), 61)</sup>、例えば、1920年代に英国では Oxford 大学の農業工学研究所で、牧草堆 (hay stack) にトンネルをつけ常温及び加熱の通風乾燥を行なって居り、アメリカでは1927年に William AITKENHEAD が矢張り牧草堆の常温通風乾燥を試みている。しかし、屋内乾燥はアメリカの JENNESSEE が1934年に行なったのが始めと思われ、WEAVER が T.V.A. system を確立した。アメリカではその後、この T.V.A. system その他の屋内乾燥がバージニア・テネシー・ノースカロライナ・ウィスコンシン・ミシガン等の諸州で実用に供せられ、ドイツ・オランダ・英国等にも次第に普及し、1957年に於けるドイツの牧草常温通風乾燥機の数約3000台と云われるに至った。

かように諸外国の牧草通風乾燥機の発達は著しいものがあるので、これに関する研究も極めて多い。

次にその研究の概略を述べる。

### 第1節 アメリカに於ける研究の概略

1930年代に始めて牧草の屋内乾燥機が現われたが、当初は常温通風しか実用に供せられなかった。第2次大戦後熱源と送風機を一緒に取りつけた熱風乾燥が行なわれるようになり、漸次移動可搬式の乾燥機が使用されるようになった。

さて、牧草の常温通風乾燥機は、構成こそ簡単であるが研究の内容は非常に多岐に亘っている。今、これを大きく分類すれば箱型の小規模の模型<sup>14), 34)</sup>を使用して、空気の分配、牧草の空気流に対する抵抗<sup>29)</sup>、牧草の密度<sup>62)</sup>、カビに関する問題<sup>21), 54)</sup>、牧草中の発熱現象<sup>17), 33)</sup>、

牧草の平衡水分<sup>18),27)</sup>, 風路の理論的設計<sup>22)</sup>等の基礎的問題を取扱うものと、各地域に於ける牧草乾燥の実際を調査したものとに分けることが出来る。更に別の角度から観れば、乾燥機の各構成要素例えば送風機<sup>9),49)</sup>, 空気分配装置<sup>2)</sup>, 加熱装置<sup>11),12),13),39),52)</sup>等に就いて研究を行なったものや、乾燥機へ投入する前の牧草の予措的処理法例えば刈取りから積込までの牧草調製に使用する農機具に関する調査<sup>56)</sup>及び予乾の効果を上げるための牧草圧碎機<sup>5)</sup>の効果等に就いての研究も行なわれている。又乾燥機に投入する場合の牧草の性状は、刈取ったままの長いもの (long hay) もあれば截断して短くしたもの (chopped hay)<sup>10)</sup> もあり、更に梱包したもの (baled hay)<sup>32),47)</sup> もあるので、それらを乾燥する場合には夫々違った乾燥過程を有するので、その比較研究もなされている。これらの研究は1940年代、特に1945~1947年に最も多く行なわれ、研究者としては、J. W. WEAVER, A. T. HENDRIX, R. B. DAVIS Jr., C. K. SHEDD, A. W. CLYDE 等がよく知られている。1950年代に入ってから、穀類の乾燥機 (crop driers) に関する研究が目立ち、牧草乾燥機に就いてはオイルバーナーと送風機を組合わせたワゴン型の熱風乾燥機に関する研究<sup>1)</sup> が特記すべきものであろう。又、最近の計測器の発達と共に乾燥過程に於ける温度<sup>53),19)</sup>, 湿度<sup>25),28),44)</sup>, 静圧<sup>48)</sup>等を測定する新しい測定器を取り扱った研究も見られる。

## 第2節 欧州に於ける研究の概略

欧州に於ける牧草の人工乾燥の歴史は、古いにも拘わらず屋内常温通風乾燥については近々10年間に発達したものである。

### 1. 英国に於ける研究<sup>3),8),57)</sup>

1957年に Institution of British Agricultural Engineers の牧草貯蔵用機械に関する会議があり、その時に G. Shepperson が Machinery for Hay Making と題して論文を発表し、屋内乾燥に就いて述べている。それによれば、英国では長草の屋内乾燥が実用に供せられるようになったのはここ数年の間で、最近漸く梱包牧草の乾燥が始まったと云い、又、将来はこの梱包牧草の乾燥を奨励すべきであると云い、梱包の大きさや密度について研究している。又、同じ I. B. A. E. の会議で Finn KELCEY は小農家のための牧草乾燥機に就いて論じ、熱風乾燥は100エーカー (40 ha) 以下の小農家には適さないと云っている。しかし、元来、英国は穀類の乾燥機が発達しているので、工業的に大規模の熱風乾燥機が多く、これを屢々牧草乾燥に用いている場合がある。

## 2. ドイツ<sup>4),20),41)</sup>

ドイツに於ける研究者は、G. SEGLER, M. RIST, H. BICKEL 等が知られ、その中心は Brunswick 工学研究所である。乾燥機の種類として、簧の子の床を使った Brunswick system, 風路系を用いた Bahenhausen system, 及び Hohenheim system があり、RIST はこれらについて気象と熱風との関係を論じ、BICKEL はアルファルファ混合牧草の空気流に対する抵抗について研究している。SEGLER は牧草乾燥の経済性に関する研究をなし、又、水分含量の簡単な表示法として、簡便法 (rule of thumb) を提唱し、これを実際に採用している。このことは、現象を理論的に考えるドイツに於て、一見、原始的と思われる方法が用いられていることは、特に注意すべきことと思う。更には、SEGLER は牧草圧碎機や熱風の代りに牧草の醗酵熱や呼吸熱を利用する実験も行なっている。

## 3. オランダ<sup>36)</sup>

オランダの牧草乾燥に関する研究の中心は、Wageningen の貯蔵及び加工研究所の一分野を担当している Droogtechnisch Laboratorium (Drying Research Laboratory) の研究である。この研究も最近数年間に始まったもので、架掛 (stack) の形で乾燥する方法と屋内乾燥とについて研究が行なわれている。何れも加熱乾燥で加熱方法は間接加熱で、熱源を乾燥室から離し、熱風は地下の風路を通り、乾燥室の床を通して牧草中に送られるようになっている。送風機は地下風路の途中にある。特に、一般と異なる点は、乾燥室の中央に堅型の円筒があり、この円筒から周囲の牧草中に熱風が送られるわけであるが、牧草の積み高さに応じて円筒内のピストンを上下し、送風量を調節出来るようになっていることである。

## 第3章 牧草通風乾燥機の種類

牧草通風乾燥機の種類は非常に多く、乾燥機の容量、構成要素、被乾燥牧草の種類及び性状、送風機の種類、乾燥機の設置場所、附加熱源の有無、風の分配装置の種類等によって夫々幾つかに分類される。かように、分類の基準を何におくかによって、分類の仕方も多様であるが、牧草通風乾燥機の根本からすれば、通風される空気は常温か熱風か、及び風の分配装置は如何なるものかということが、最も重要な問題と考えられるので、筆者はこの二項目に就いて分類することにした。

先ず、附加熱源の有無によって通風乾燥機を分類すると常温通風乾燥機 (unheated forced air drier 又は

cold air drier) と加熱通風乾燥機 (heated air drier 又は warm air drier) になる。

### 1. 常温通風乾燥機

これは云うまでもなく、大気を人工的な加熱を施すことなく、牧草中に通風して乾燥するもので、操作も比較的簡単で経費も少ないので、通風乾燥機の始めから用いられ、現在、汎く発達している乾燥機である。

### 2. 加熱通風乾燥機

大気を人工的にバーナーで加熱し、温度を上げた空気を牧草中に通風し、急速に乾燥を行なうものである。これは、加熱法によって直接加熱 (direct heating) と間接加熱 (indirect heating) とに分かれ、又、その可搬性によって、定置式 (stationary type) と移動式 (portable type) とに分類される。何れにしても、加熱通風乾燥機は、大量の牧草を能率よく、天候に左右されずに乾燥するものであるが、常温通風乾燥機に比べて設備費並びに運転費が嵩み、構造・操作も複雑で、且つ、火災その他の危険が伴う欠点がある。

次に、風の分配装置によって、牧草の通風乾燥機を分類すると、大別して、風路系分配装置 (duct system air distribution) と、簀の子式分配装置 (slatted floor type air distribution) とになる。

### 1. 風路系分配装置

送風機からの風が、直ちに牧草中へ送られずに、一旦主風路 (main duct) に入り、而る後、牧草中に送られるか、又は主風路に接続されたラテラル (lateral) と称する副風路を介して牧草中に送風されるような風の分配装置を云い、これにも種々の種類がある。

すなわち、ラテラル付分配装置は、主風路の乾燥室内に於ける位置により、中央主風路型 (central main duct system)、側壁主風路型 (side wall main duct system)、外部主風路型 (manifold type) の三種に分けられ、主風路断面の形状によって、円筒型、三角型 (A 型)、矩形型に分けられ、更に主風路の外形により、直線型 (straight duct)、テレスコープ型 (telescoping duct)、テーパ型 (tapered duct) 等に分けられる。ラテラルに就いても、主風路と同じように分類される。

これらの風路系分配装置は、被乾燥牧草の性状及び有効床面積等によって選ばれる。又、風路の形状は、直線矩形型が構造・製作共に簡単のため広く用いられている。

### 2. 簀の子式分配装置

これは、送風機からの風を直ちに空気充満室 (plenum chamber) に導き、牧草を入れた乾燥室の簀の子床から、牧草中に風を分配する装置である。多くの場合、この式

は、穀粒とか梱包した牧草の通風乾燥に用いられる。又この式と前述の主風路を用いた併用式のものがある。すなわち、主風路の両側 (中央主風路型の場合) 又は片側 (側壁主風路型の場合) に、ラテラルの代りに簀の子床をおく方式で、簀の子床は一種のテレスコープ型になっているものもあり、簀の子床を2つの部分に分けて、片側だけ使うことの出来るようになっているものもある。

簀の子式分配装置は、構造が簡単で、風を損失少なく牧草中に送り込む目的で設計されるのであるが、壁際に於ける風の故失が大きく、特に、積み高さが高くなると損失の割合が大となる欠点がある。

## 第4章 風路系牧草常温通風乾燥機に関する一般的解説<sup>16), 37), 50)</sup>

前章に於て述べた如く、牧草通風乾燥機には種々の型式及び種類があるが、本研究で取り扱う乾燥機は、風路系常温通風乾燥機である。これについて、我が国では余り知られていないので、本章に於てはその構成・使用法等に関する一般的解説をする。

### 1. 風路系常温通風乾燥機の構成

風路系常温通風乾燥機は、(1) 乾燥室、(2) 風の分配装置、すなわち、風路系、(3) 送風機並びにその駆動原動機の三つの主要構成要素よりなり、牧草は乾燥室床面の風路系の上に積まれ、送風機からの風は風路系を介して牧草中に送られるようになっている。

乾燥室は、特別に作られたものではなく、牛舎の二階若しくは納屋等をそのまま利用するので、牧草の貯蔵室を兼ねているものが多い。

風路系の種類も多いが、要は堆積牧草 (mow) の幅、牧草の積み高さ、牧草の性状によって選択することである。

牧草の積み高さが12 ft. 以下ならば、堆積牧草の幅に関係なく側壁主風路型ラテラル付風路系で充分良結果が得られると云われている。主風路及びラテラルの構造は木製で、夫々調節扉が設備してあり、主風路は大抵人間が入って歩ける位の高さがあるので、この扉は人手で自由に調節出来るようになっている。ラテラルの末端は、壁際の風の損失を防ぐために、壁際から若干離れて居りラテラルとラテラルとの間は、4~6 ft. 離れている。

送風機は、牧草の抵抗に対して充分な風量並びに静圧を有していなければならない。一般的には送風量は、堆積牧草の有効床面積 ft.<sup>2</sup> 当り 10~20 c.f.m.、又は、牧草の重量トン当り 300~500 c.f.m. 必要であると云われ、静圧は有効床面積 ft.<sup>2</sup> 当り、積み高さ 15 ft. で大体 1.0~

0.75 インチ水柱、積み高さ 6~8 ft. で凡そ 0.5~0.6 インチ水柱であると云われている。

送風機には、価格が安く、大風量を有する軸流型、及び前傾羽根の遠心型が用いられ、後傾羽根の遠心型は、特に高圧力を必要とする場合に用いられる。前傾羽根の遠心型送風機は、過負荷になり易いので、圧力損失の少ない時には風量の調節を行なう必要がある。

送風機は、一般に電動機によって駆動されるのが普通であるが、時にはガソリンエンジンによって駆動される場合もある。

## 2. 風路系常温通風乾燥機の運転並びに使用法

良質の乾牧草を得るためには、先ず牧草の刈取りを適正な時期に行なわなければならないが、アルファルファでは、1/10~1/4 開花の時に最も飼料価値が高いと云われている。アメリカの気候条件のよい所では、朝、刈取りを行なえば、その日一日予乾を行なったのみで、乾燥機へ積み込むことが出来るが、条件の悪い所では、2~3 日地干をしなければならぬと云われている。地干中にはテツダーで反転し、レーキで集草、フォークで山積みの作業が行なわれる。これらの作業は、牧草を乾燥機へ積み込むのに適当な水分になるまで繰り返される。此の場合、乾燥が過ぎないようにすると共に、地干を能率よく行なうために、牧草圧碎機 (hay crusher 又は hay conditioner) が用いられることもある。

かようにして、予め乾燥した牧草を、乾燥した牧草を乾燥室の風路系の上に拡げて積み込むが、運搬・積み込みには出来るだけ機械力を使って、労力の節減に努めるべきである。一回の積み込み高さは、4~8 ft. とされているが、これの乾燥が済んでから、第二回の方を積み上げて行く。

次に、送風機の運転計画であるが、ミシガン州に於ては牧草積み込み後、最初の 4~5 日は連続運転し、その後は日中だけ運転を行なっている。勿論、雨の日は運転しない。しかし、地方により送風機の運転計画は別々であり、特に天候の悪い所では、加熱方式 (supplemental heat) を採用している場合もある。

以上は主として、長草の乾燥に就いて述べたが、截断草や梱包草の乾燥に就いても略々同様である。唯、後者に於ては、牧草の風に対する抵抗が高くなるので、牧草の量が同じであれば、積み高さを低くしなければならない。

## 第 5 章 我が国に於ける牧草乾燥の現状<sup>(65), (67), (68)</sup>

現在、我が国に於いて行なわれている牧草乾燥の方法

は、殆んど自然乾燥によるものであるが、これを大別すると、(1) 陽乾法、(2) 気乾法、(3) 醱酵法の三つになる。

陽乾法は、主として太陽熱を利用し、自然通風によって乾かす方法で、普通の乾燥法である。すなわち、晴れた日の午前中に鎌、又はモアで草を刈り、刈り倒した草は地面に薄く拡げて充分に日光に当てよく風を通し、所謂地干を行なう。地干中は、1日に1~2回、フォーク又はテツダーで牧草の反転を行ない、夕方フォーク又はレーキで集草し、円錐形に堆積する。翌朝、晴天であれば再び拡げて乾かす。翌日以後は乾き終るまで第1日と同じようなことを繰り返す。

気乾法は、日光にも当てるが主として風通しをよくして乾かす方法である。荳科の牧草や甘藷蔓などは、陽乾法では葉落ちのおそれがあるので、気乾法によりなるべく牧草を動かさぬようにして乾かす。すなわち、この方法では三角架その他の架に生草をからみつかせ、空気の流通をよくして乾かすので、これを架上乾燥法とも云っている。

醱酵法は、乾燥する途中で草を大きく堆積して醱酵を起させ、醱酵熱の一部を利用して乾牧草を作る方法であって、雨の多い所で用いられる。仕上り乾草の品質は、醱酵の程度によって異なり、又、醱酵による養分の損失が半分以上になることもある。

以上、三つの乾燥法について述べたが、これらの自然乾燥は雨に合うと乾牧草の品質を低下し、又、天候のよい所でも長時間を要し、呼吸や醱酵による養分の損失と牧草処理中の機械的損失が多い。その上、作業の計画が天候に左右されることも大である。

一方、人工通風乾燥は前に述べた如く、自然乾燥のこれらの欠点を補うものであるから、我が国に於ても大いに発達せしめなければならないにも拘わらず、現在、常温通風による人工乾燥の行なわれているのは、北海道江別市の町村牧場、並びに渡島当別トラピストに於ける常温通風乾燥機のみで、従って、これらに対する研究も皆無である。最近、1~10坪程度の穀類の常温通風乾燥機<sup>70)</sup>が非常に発達し、これを牧草の乾燥に用いる試みがなされている。

## 第 6 章 本研究をなすに至った動機

筆者は、前章までに牧草通風乾燥の特徴とその重要性を述べ、数多の諸外国の文献によって、これら諸外国に於ける牧草乾燥機の発達を概観し、非常に多くの種類の乾燥機があることを知ったが、翻って我が国の現状は依然として古来の自然乾燥のみに頼り、毎年莫大な牧草の

損失があるにも拘わらず、牧草乾燥機の発達は全く見るべきものがない。これは牧草乾燥機の設備・運転に要する費用が安くはないという経済的な理由によるとも考えられるが、主なる理由は、牧草乾燥機に対する知識の欠除と無関心によるものと考えられる。

次に、風路系常温通風乾燥機に関する一般的解説を行ない、諸外国に於ける研究の状況を調査して見るに、ある程度の決った構成要素・設計方式・使用法はあるにしても、如何なる所でも適用される理論的な研究はなされていないことを知った。多くは経験的記述と実験室内の理論とが別々に行なわれている。このことは外国に於ても指摘されている所で、実際の風路系常温通風乾燥機による牧草の乾燥過程が多くの複雑な要素がからみ合って進展するものであり、しかもその経過は長期に亘り、従ってこれの実験調査を行なうには、多数の人員・時間・測定器具を要するのみならず、莫大な費用を必要とするためであると思われる。

我が国に於ても、実験室内の研究や小規模の乾燥機に関する研究は、多少行なわれているが、真の意味の風路系常温通風乾燥機については全く研究が行なわれず、従ってその導入発達もおくれている現状である。

筆者は、これらの内外の情勢に鑑み、又、恩師常松栄博士の貴重な示唆を得て、本研究を実施するに至ったものである。

## 第 II 編 供試せる風路系常温通風乾燥機の性能に関する基礎的実験調査

第 I 編に於て、風路系常温通風乾燥機に関する一般的解説を行なったが、本編に於ては筆者が、供試せるトラピスト大修道院の風路系常温通風乾燥機の性能に関する基礎的実験調査の結果を述べることにする。

トラピストの供試機は、昭和 28 年に始めて導入されたものであるが、設備当初は必ずしも良好な成績が得られたとは云われず、昭和 31 年に一度改造し、昭和 33 年 8 月の増設によって、一応現在の形態を整え、生産された良質の乾牧草は、自家需要を充たした外に他に供給され、かなりの収益を挙げるに至った。此の間、修道院では修道士各位の血のにじむような努力と忍耐が払われ、改良と工夫が重ねられて漸く附近の酪農農家は云うに及ばず、広く全道酪農家の注目を浴びるに至ったことは実に驚嘆に値し、且つ、敬服すべき事実と云わなければならない。

風路系常温通風乾燥機の終局の目的は、良質の乾牧草

を能率的に乾燥むらなく生産することに存するが、その構成要素の適正な組み合わせ、及び各構成要素の性能等の基礎的条件が極めて重要な問題である。

しかし、供試機はアメリカの Clarge 式牧草乾燥機に関する文献によって自作されたものであり、正式の設計図面によって造られたものでもなく、設備以来、種々の改良も加えられているので、その構造及び主要諸元に関する正確な資料がない。ましてその性能に関しては、科学的実験調査が試みられたこともなく、全く知られていない。

筆者は、ここに思いを致し供試機の構成要素、及び無負荷時に於ける各種の性能に関して、詳細なる実験調査を行なった次第である。

## 第 7 章 供試機の構成要素と主要諸元、並びに実験方法と測定器具

供試機の構成要素は、アメリカの一般の場合と同様、(1) 乾燥室、(2) 空気分配装置、(3) 送風機並びに駆動電動機よりなり、アメリカの T.V.A. 型標準風路系常温通風乾燥機<sup>(58), (59), (60)</sup>に相当するものであるが、実際に則応して次第に改良が加えられて来たので、設備当初のものとは可なり変わった所がある。又、供試機の製作者自身も詳細な諸元を記録していないので、筆者は先ず、供試機の主要なる諸元について調査を行なった。

尚、本研究に於て使用せる実験並びに測定器具は、第 II 編及び第 III 編を通じて同一のものをを用いたので、ここに予め記述しておく。

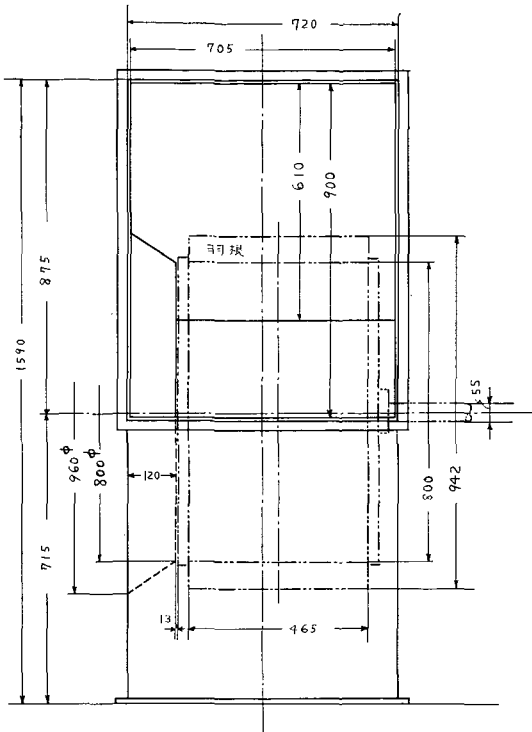
### 第 1 節 乾燥室

乾燥室は特別に建てられた建物ではなく、牛舎の二階を利用したものである。牛舎は東西に長い床面積 592 m<sup>2</sup> 屋根の頂上までの高さ 10.9 m (36 尺) を有する木造二階建て、一階はコンクリート張りの乳牛飼育室をなし、二階は従来牧草その他の貯蔵室にあてられていたものである。牛舎の全景を写真 1 に示した。牛舎二階の中央附近は、牧草の積み降しに便なる如く、床板を取り除いて吹抜けにする事が出来る。この吹抜けによって牛舎二階の床は二分され、東側が約 198 m<sup>2</sup> (約 60 坪)、西側が 231 m<sup>2</sup> (約 70 坪) の床面積になっている。これを乾燥室として使用するために、東西両床上にルーフィング・ペーパー (田島応用化学工業 K.K. 製) を張り、更にその上に厚さ 12~15 mm の杉の板林を張って、風の床下への漏洩を防いでいる。かような床張りの上に風路系が設備されているわけである。牛舎の側壁は、比較的気密なため

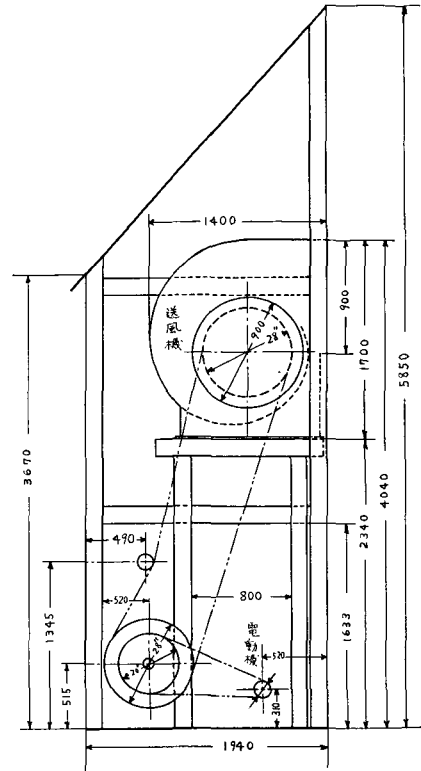








第8図 排気口よりみたる送風機の断面図



第9図 送風機小屋内部の伝導部

## 2. 静圧管

長さ210 cmの真鍮製のパイプの先端に尖の鋭った鉄製錐を半田付けし、錐の上方、錐先から2.0 cmの所に直交する4ヶの小孔を開けて、静圧取入孔としたものである。

静圧を測定するにはこの静圧管を牧草中に挿入し、静圧管上端の排気口にゴム管を連結してこれを圧力計に導くのである。かようにして堆積牧草中の静圧を測定するのであるが、又、ラテラルの静圧測定には長さ7.5 cmの銅パイプを用いた。

尚、本静圧管の製作には松見高俊技官の手をわずらわした。

## 3. 温度計

目盛0°C~100°Cの普通の棒状寒暖計を8本使用し、気温、室温、牧草中の温度等を測定した。牧草中の温度は後述する如く、棒状寒暖計をそのまま用いる場合もあるが、長さの異なった鍍銀パイプを予め牧草中に挿入しおき、これに棒状寒暖計を糸で吊るして任意の高さの温度を測定した。

## 4. 湿度計

自記毛髪湿度計及び乾湿球湿度計を併用し、外気及び

乾燥室内空気の湿度を測定した。

## 5. 含水率計

赤外線含水率計 Kett F-1 A 型を使用して、牧草の含水率を測定した。牧草のサンプルは持ち運びの間にも乾燥するので、ビニール袋に詰め蒸発を防ぐようにした。

## 6. 回転計

鳥津製作所製のハスラー回転計を用い、送風機及び電動機の回転数を測定した。

## 7. 回路試験器

Tōyō 社製の回路試験器を用い、電源その他の電圧を測定した。これと配電盤附属の電流計とを併用し、電動機の入力を $\sqrt{3}$  VAの式より算出した。ここにVは電圧(ボルト)を表わし、Aは電流(アンペア)を表わす。

## 8. 巻尺、物指、折尺等

乾燥機の主要諸元、牧草の積み高さ、ビーター管の位置、堆積牧草中の温度計の位置、静圧管の位置等を表示するのに巻尺、物指、折尺等を使用した。

## 9. バネ秤

25 kgのバネ秤により少量の牧草重量を測定した。

## 10. その他

ストップウォッチ、写真機、ガラス製切換コック、ゴム管、アルコール、麻糸、サンプル用ビニール袋等の一般的な実験器具の他、風速の実用的表示法を実験する目的で、線香、ゴム風船、コロイカル、羽毛等を使用した。

### 第8章 供試機の無負荷時に於ける特性

風路系通風乾燥機に於て無負荷と称するのは、乾燥機に牧草その他の被乾燥物質を積み込まない状態を指すもので、無負荷時の特性は乾燥機に供給される風量及び静圧の大きさ、主風路内の風速及びその分布、ラテラルの風速並びに静圧の大きさ及び分布、送風機及び駆動原動機の無負荷特性等を含むものである。而して、風路系通風乾燥機のこれらの諸特性を知ることは、実際に牧草を積み込んだ場合の所謂負荷性能を或る程度予測出来ると共に、風路系の適正な設計製作並びに改良を行なう上に重要な基礎となるものである。

かように、風路系通風乾燥機の無負荷時に於ける性能が乾燥機の設計製作上重要な意味を有するにも拘わらず、従来外国に於てもその研究が殆んど行なわれず、僅かに HENDRIX<sup>30)</sup> が、ラテラルの風速分布に就いて実験した例があるに過ぎない。これは、風路系常温乾燥機の乾燥室が多くは牛舎又は納屋を利用して作られているので、一般には乾燥した牧草が常に貯蔵してあり、全く空になる時期が少ないためと考えられる。供試機についても、乾燥室が全く空になるのは精々5月一ばい及び6月上旬位だけで、その他は常に牧草が充満して、風路系の外観を見ることすら困難なのが実状である。

筆者は、これらの実状に鑑み、昭和34年6月7日～同年6月11日及び昭和33年8月25日～同年8月31日の2回に亘って夫々A-風路系並びにB-風路系の無負荷時に於ける性能について実験調査を実施した。

元来、風路系通風乾燥機に於て無負荷時には、風に対する牧草の抵抗が最低の状態に当るので、風量は最大となり、送風機及び駆動原動機には最大の負荷がかかることになる。従って、通風乾燥機の無負荷特性に関する実験では、原動機が過負荷状態にならぬよう風量を何らかの方法で調節しながら行なうべきである。

#### 第1節 主風路内の風速及び静圧の測定法

風路系通風乾燥機の供給風量は、主風路内を流れる風量を以って表わすのが妥当と考えられるが、実際に使用中の通風乾燥機に於て、主風路内の風量を測定することは仲々困難で、従来、風路系通風乾燥機の通風量が、数

多く報告されているにも拘わらず、此の部位の測定法に就いては全く触れられていない。それは、一般の送風機の性能試験の如く規定の風洞を用い規格に適った測定法を実施することが困難なためと、主風路内の風が非常に乱れているためと思われる。

G. W. STEINBRUEGGE<sup>51)</sup> もこの事に就いて研究したが彼は30ft×80ftの床面積を有する牧草室で、出力7.5馬力、送風量23,000 c.f.m.の性能を有する送風機を用い通風乾燥機の主風路内の風量を測定した。彼の実験では床を半分に仕切って奥の部分だけを乾燥室として使用するようにした乾燥機で、手前のラテラルを一部閉鎖した状態で、測定を行なったものである。送風機の出口の所に於ける風の乱れは、風路の中へ人間が入って空間を手で探ってみてもよく感得出来たと云っている。而して彼は、送風機出口より27ftの距離の所に主風路内にピトー管の測定断面をとり、この位置で測定した風速並びに風量が、カタログに示された風速及び風量に最も近い値を示したと云っている。かように、主風路の一部を風量測定用の風洞として使用することは、送風機と風路系の関係位置や、風路の長さ等によって制限を受け、何処でも適用されるとは限らない。

筆者は、トラピストの風路系牧草通風乾燥機の、無負荷時並びに負荷時の性能を試験する上に、最も基礎となる風量並びに静圧の測定法に就いて、その妥当性を確認する目的で本実験を行なった。供試機のA-風路系並びにB-風路系は形態は酷似しているが、各主風路の長さ送風機に対する関係位置等が異なるので、夫々の風路系の実状に則した測定法に就いて実験し、検討を行なうことにした。

#### 1. B-風路系に於ける主風路内の風速及び風圧の測定法

##### (1) 実験方法

供試機のB-風路系はさきに第3図に示した如く、建物の都合で送風機とラテラルの間に屈折部はあるが、その全体の距離は非常に長く、直線距離に直して10m(34尺)余りある。主風路が屈折部を超え、直線部に移ってから、第1のラテラルまでの距離は2.12mで、この区間でピトー管を用いて風量測定をすることは、STEINBRUEGGEの場合と多少異なるが、一応この区間に第3図、B-風路系主風路の基点より1.82mの点に測定断面A-Aを設定し、更に基点より5.15mの点に、第2の測定断面B-Bを設定した。而して、A-A断面とB-B断面において送風機の同じ状態に於ける風速及び風量を比較した。この意味は、将来牧草を積んだ場合に於ける風速及び風量

を測定する際に B-B 断面は当然牧草の下になり、ピトー管を挿入することが至難となるので、A-A 断面に於て測定せる風速並びに風量の値が、B-B 断面に於ける測定値と大差がなければ、爾後の測定は A-A 断面に於て測定しても測定誤差が少ないことになるからである。勿論、この場合 B-B 断面の風速分布が乱れの少ないことを前提としてである。若し、B-B 断面に於て風の乱れが大なる場合は、正確な測定値を得るために測定断面を更に送風機より遠い所に選ばねばならぬことは言うまでもない。

A-A 断面及び B-B 断面は、比較的凹凸の少ない内壁を有し、その断面積は夫々 1.34754 m<sup>2</sup> 及び 1.31257 m<sup>2</sup> であった。各断面積を 25 分割し、分割された各断面の中心にピトー管がくるようにして 25 点の風速を求めた。第 10 図は、A-A 断面に於けるピトー管の測定位置を示すものである。風速を求めるには予め主風路の上面に 1, 2, 3, 4, 5 の点に 1 インチの錐で穴をくり抜き、穴には始め全部にゴム栓を施しておき、ピトー管を挿入する時に順次 1 ケずつゴム栓を抜いてゆくようにした。尚、主風路には内側の板の継目にクラフト紙を張り、風路損失を最小にするよう努めた。写真 6 (A) 及び (B) は、主風路内の風量並びに静圧の測定装置を示すものである。

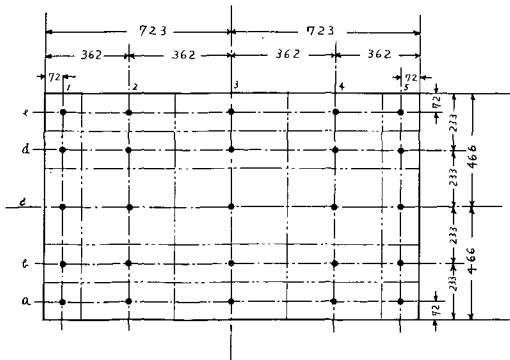
ピトー管並びに圧力計を用いての風速の算出には次の式によった。

$$V = \sqrt{2gh} \text{ m/sec.}^{64)}$$

但し  $g$  = 重力の加速度 m/sec<sup>2</sup>

$h$  = 空気流の動圧 mm 水柱

ここで、 $h$  は大気中の温度、湿度、気圧の影響を受けるので、これに対する補正が必要であり<sup>66)</sup>、又、圧力計に水以外の物質、例えばアルコールを用いた場合にはその比重を測定して、水柱に換算しなければならない。本実



第 10 図 A-A 断面に於けるピトー管の測定位置

験に於けるアルコールの比重は予め 0.835 になるよう稀釈しておき、又、大気的气象条件を考慮に入れて風速の算出を行なった。

実験中は、ラテラル No. 1~No. 5 を閉塞した状態とし、又、送風機の回転数も略々一定で 418 r.p.m. であった。

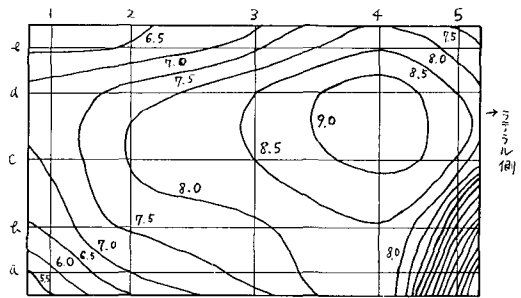
かようにして、送風機側の条件を一定とし、測定断面のみを異ならしめた場合の各測定断面の風速分布を比較し、その後、風量及び静圧の比較検討を行なった。

(2) 実験結果

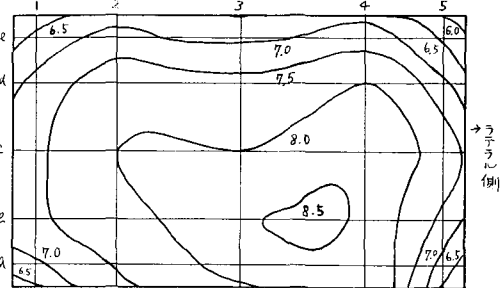
(i) A-A 断面及び B-B 断面に於ける風速分布

前記、25 点の測定点に於ける風速を算出し、それから A-A 断面及び B-B 断面の等風速分布曲線を描けば、第 11 図 (A) 及び (B) の如くなる。第 11 図 (B) から明らかな如く、B-B 断面に於ける風速分布は一様で、ここの空気が略々平行流をなしていることが解り、A-A 断面では、四隅に風速の不均一な所がある。

しかし、何れの場合でも風速は 6.4~8.4 m/sec 及び 3.7~9.2 m/sec でその変動の差は少ない。



(A) A-A 断面



(B) B-B 断面

第 11 図 B-風路系主風路の風速分布 (単位は m/sec)

(ii) A-A 断面及び B-B 断面に於ける風量並びに静圧  
A-A 断面の 25 点の平均風速は、7.67 m/sec、B-B 断面のそれは 7.75 m/sec となった。各測定断面の 25 分割された面積にその中心の風速を乗じて加算すれば、各断



テラルの有効本数が減ることとなり、実情に適さない結果となる。

以上の事から、A-風路系に於いては、一応、ピトー管によって主風路内の風量や風速などを測定してはみたが、その値に就いては、風速分布の不整を考慮に入れて判断しなければならぬ。しかし、B-風路系に於ける送風機の回転数、及び電動機の入力と、A-風路系に於けるそれらの値とを比較し、対応するB-風路系の風量並びに風速から、A-風路系の風量並びに風速を、或程度まで推定することは可能である。

かかる見地に立って、筆者は、今後、A-風路系の風量並びに風速等は、ピトー管及び圧力計を用いて得られた見かけの値と、回転数及び消費電力とを勘案して推定することとした。

## 第2節 主風路に於ける風量並びに消費電力

### 1. A-及びB-風路系の風量

#### (1) 実験方法

A-及びB-風路系の各主風路を流れる風量、すなわち、各乾燥室に送られる送風量を、第1節の測定法により求めた。

但し、この場合、各主風路に送られる風量は、送風機の排気口にある遮蔽板により、夫々の風路系に吹き分けて測定し、各々、ラテラルは全部開き、送風機小屋の南窓を開き、東側扉を閉め、送風機の吸入口は全開にしておいた。すなわち、これらの条件は、一般に、乾燥機の負荷時に送風する場合の条件と同じで、所謂、普通の運転使用状態を表わすものである。

第1表 A-及びB-風路系の風量特性

	電動機 (r.p.m.)	送風機 (r.p.m.)	電圧 (V)	電流 (A)	入力 (kVA)	風速 (m/sec)	風量 (m <sup>3</sup> /min)	静圧 (mm水柱)
A-風路系	1440	420	218	37	14.0	10.7	805	—
B-風路系	1440	418	215	36	13.2	8.5	687	2.6

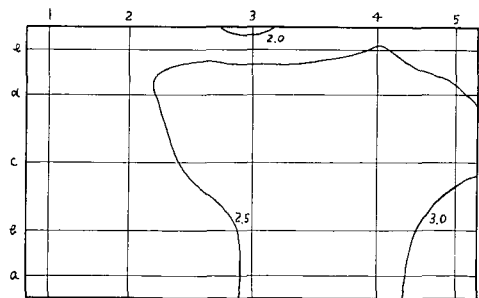
#### (2) 実験結果

実験の結果を第1表に示す。第1表に於いて、A-風路系はB-風路系よりも風量の値が大きくなっていることが解る。これは、B-風路系の風路損失、電源電圧の違い、送風機の回転数の違い等のためと思われるが、A-風路系に於いては、静圧、風速共に分布が乱れているので、STEINBRUEGGEが示している如く、カタログの値より大きくなったものと考えられる。しかし、B-風路系については、風量の値が、一般のカタログに示された値と略一致しているので、概ね信頼出来ると考えられる。又、B-風路系の主風路のA-A断面に於ける静圧分布並びに風速分布を、第14図に示したが、この図と第11図とを比較して、ラテラル No. 1~No. 5の開閉によるこれらの分布が、余り変わらないことから、測定値を信頼することが出来ると思う。

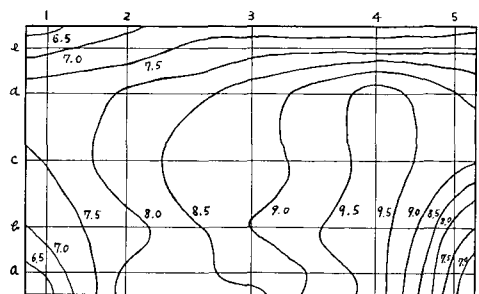
## 2. 風量の調節、並びに電動機の消費入力

### (1) 実験目的並びに実験方法

風路系通風乾燥機では、電動機容量、牧草の積込量、積み高さ、床面積の使用法等に応じて、風量を調節する必要があり、供試機に於いても、これを考慮して、ラテラルに夫々調節戸が付いている。又、送風機の吸入口を一部遮蔽することによって、その目的を達することが出



(A) 静圧分布 (mm水柱)



(B) 風速分布 (m/sec)

第14図 B-風路系、主風路、A-A断面に於ける静圧並びに風速分布

来る。かように風量を調節する場合に、どの程度の範囲に調節可能であるかを知る目的で、筆者は、B-風路系について、ラテラルの開閉及び吸入口の遮蔽による風量調節の実験を行なった。吸入口の遮蔽には、写真7-㉔及び㉕に示すように麻袋を用いた。これを、送風機の上方から1/3及び1/2の2段階に覆った。1/3遮蔽とは、

金網の上の棧まで覆った時を云い、1/2遮蔽とは、それから金網の目数にして10.5目を覆った時を指すものとする。

(2) 実験結果

かようにして、ラテラルの開閉と吸入口の遮蔽とを組合わせて、送風量を測定し、その結果を第2表に示した。

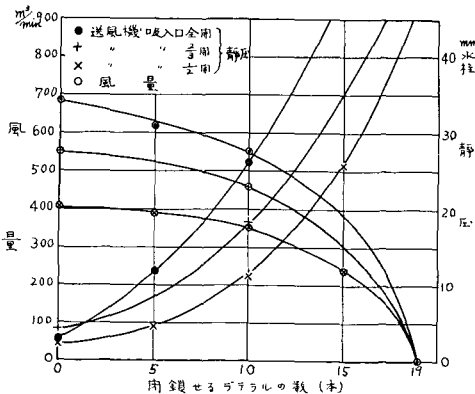
第2表 B-風路系の風量調節特性

送風機吸気口開度	ラテラル調節戸開度	r.p.m.		電圧 (V)	電流 (A)	電動機入力 (kVA)	静圧 (mm水柱)	風速 (m/sec)	風量 (m³/min)
		電動機	送風機						
全開	全開 9本開 (No. 1~10閉)	1440	418	215	36.0	13.21	2.6	8.49	687
		1460	420	210	30.0	12.00	26.0	6.80	550
2/3開	全開 9本開 (No. 1~10閉)	1457	420	213	31.0	11.41	4.2	6.81	550
		1463	429	217	27.5	10.30	18.0	5.56	462
1/2開	全開 9本開 (No. 1~10閉)	1463	429	217	27.5	10.30	2.3	5.02	406
		1465	430	220	25.0	9.50	11.3	4.52	366

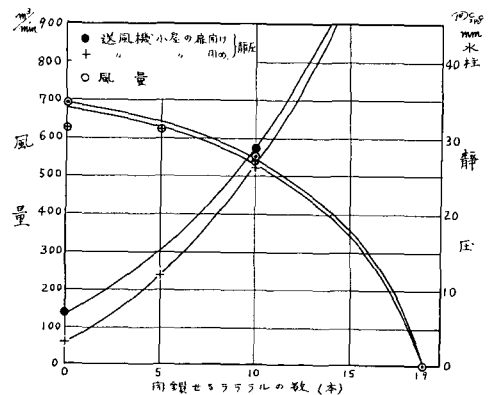
吸入口を全開のまま、ラテラルを15本閉塞すると、風路内の風圧が異常に高くなって、風路の破損の恐れがあったので、この組み合わせは行なわなかった。

又、第2表から静圧-風量曲線を求めると、第15図の如くなる。第15図から、風量の調節は、吸入口遮蔽の影響が大なることが解る。更に、送風機小屋の東側扉の開閉による風量の変化をみると、第16図の如くなり、僅かに影響のあることが解る。

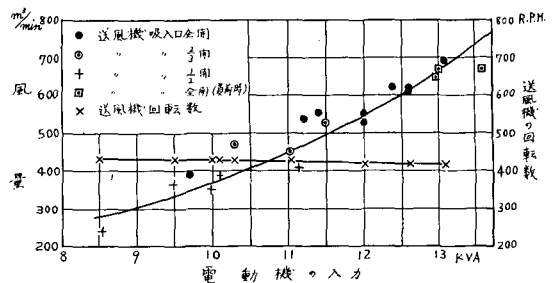
上記の如く、風量を種々に調節した場合の、風量と電



第15図 送風機吸気口及びラテラル調節戸の開閉による送風量並びに静圧の変化



第16図 送風機小屋扉の開閉による風量並びに静圧の変化



第17図 B-風路系に於ける風量-電力曲線

動機入力との関係、及び回転数の変化を第17図に示した。この図から、電動機入力は風量の増加と共に増大しているが、回転数の変化は余り顕著でないことが解る。

第17図によれば、電動機の入力から、送風量の値を、大体、推定することが出来る。

### 第3節 ラテラル出口に於ける風速分布

風路系牧草常温通風乾燥機に於いて、ラテラル出口に於ける風速は、主風路内で高まった静圧が、ラテラルに分配されて多少低くなり、ラテラル外部へ放出される時に風速となって現われるものである。風路系に牧草が積み込まれると、この風速は再び静圧に変わり、この最後の静圧が、牧草中を通る風速を規制するエネルギーとなるわけである。風路系に牧草が積み込まれていない、所謂、無負荷時には、ラテラル出口の静圧は零で、すべての空気エネルギーは、風速として現われている。而して、ラテラル出口に於ける風速分布、及び、それが負荷時に

於ける牧草の乾燥むらに及ぼす影響は、風路系の設計並びに製作上、極めて重要な問題である。

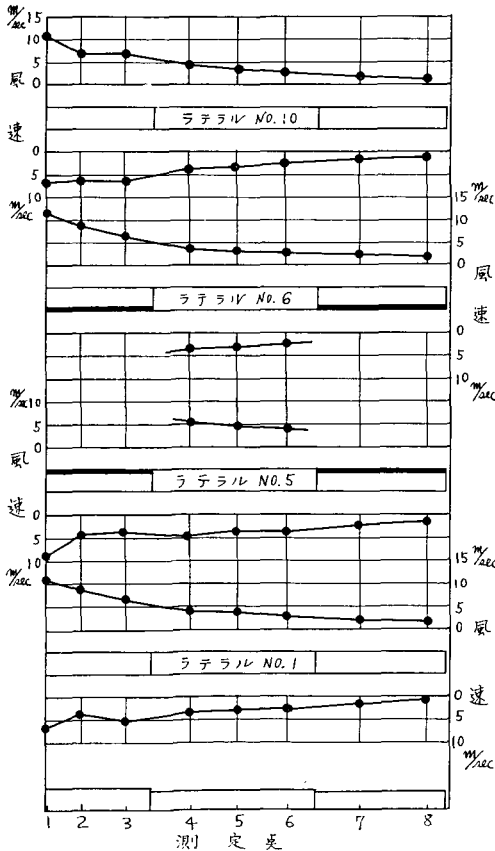
従って、外国に於いても、HENDRIX 及び KRAMER<sup>35)</sup>が、ラテラル内の静圧、風速・風量等に就いて、研究を發表している。HENDRIX は、風路系の負荷時及び無負荷時に於ける風量と静圧の分布を比較しているが、彼は、唯一本のラテラルについて測定したものである。KRAMER は、テレスコープ型とテーパー型のラテラルの比較を行なった結果、摩擦損の上から、テーパー型が優れていると報告している。

筆者は、トラピストの供試機について、設計の合理性を確かめる目的で、牧草積み込み時の静圧特性を調べる前に、予め、無負荷時のラテラル内の静圧及び風速分布について、実験を行なった。

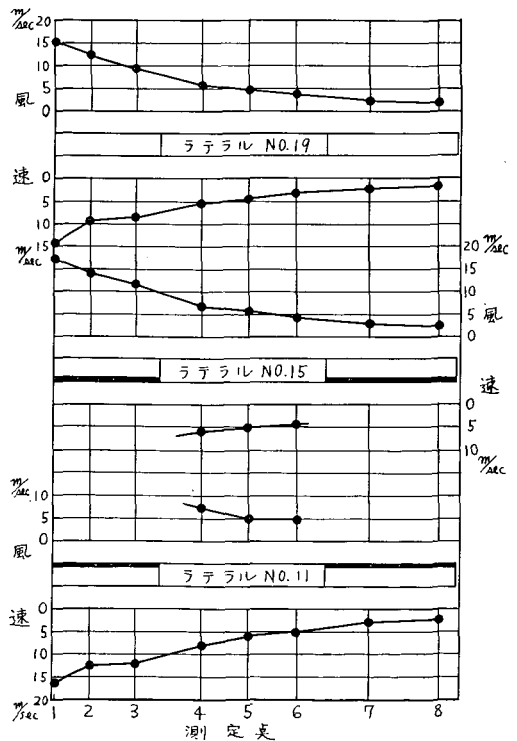
#### 1. B-風路系のラテラル出口に於ける風速分布

##### (1) 実験方法

B-風路系の19本のラテラルの中、No. 1, No. 5, No. 6, No. 10, No. 11, No. 15, No. 19の7本に就いて、風速及び静圧を測定した。各ラテラルに8点の測定点を取り、ラテラルの両側の間隙に風に向かってピトー管を当て、風



第18図 (A) ラテラル出口の風速分布 (B-風路系、ラテラル全閉)



第18図 (B) ラテラル出口の風速分布 (B-風路系、ラテラル全開)

速を測定した。写真-8は、風速測定の状態を示すものである。各測定点は、ラテラルの付け根から8 cm, 80 cm, 325 cm, 430 cm, 540 cm, 700 cm, 854 cmの距離をとったもので、夫々、測定点1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8とする。

本実験に於いて、送風機の吸入口及びラテラルの調節戸は全開とし、送風機小屋の東側扉は閉めた状態とした。

尚、電動機の電源電圧215ボルト、消費電流33アンペア、回転数1445 r.p.m.で、送風機の回転数は390 r.p.m.であった。

## (2) 実験結果

### (i) ラテラル全開の場合の風速分布

第18図は、各測定ラテラルの出口に於ける風速分布を示すものである。同図ラテラルの太線部分は、柱に面するので、何れも出口が閉塞してあることを示す。

第18図に於いて、No. 1, No. 10, No. 19のラテラルは、全長に亘って、左右両側に出口があるが、この風速分布は、左右対称にはならず、測定点1~3に於いて、主風路に向かって右側出口の風速は、左側出口の風速よりも大となっている。しかし、4以下の測定点では、概ね左右対称の風速分布となっていることが解る。

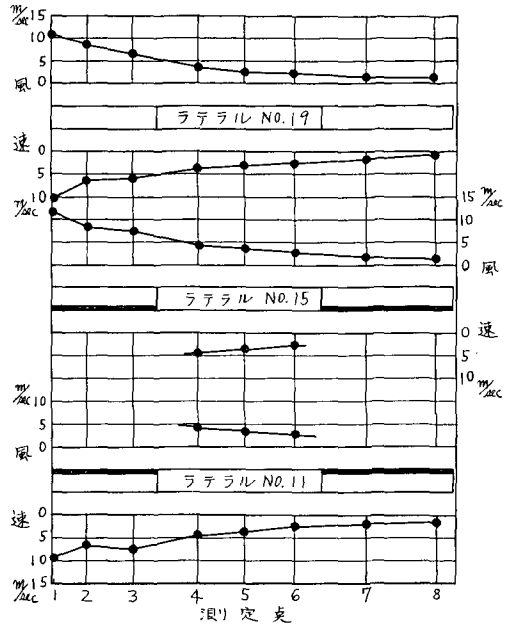
次に、ラテラル No. 5及び No. 11は、右側の出口が、ラテラルの根元と先端で閉塞してあるので、測定点は、4, 5, 6の三点のみとした。この2本のラテラルに就いては、No. 1, No. 10, No. 19のラテラルの出口に於けるよりも風速の値が大きいようであるが、分布状態には大差がない。又、No. 6及び No. 15のラテラルは、左側出口が閉塞してあるが、此の場合も特に著しい差は認められなかった。更に、送風機に近いラテラルと、遠いラテラルとの間の風速の大きさの違いは余り判然とは認められなかった。

尚、本実験に於ける主風路の風速は、A-A測定断面に於いては、最大8.69 m/sec, 最小6.53 m/secであり、25測定点の平均風速は、7.67 m/secであった。

### (ii) ラテラルを10本閉塞した場合の風速分布

第19図は、ラテラル No. 1~No. 10の10本を閉鎖した場合の、No. 11, No. 15, No. 19のラテラル出口の風速分布を描いたものである。この時の主風路の風速は、A-A断面に於いて、最大8.86 m/sec, 最小5.12 m/sec, 25測定点の平均風速は6.8 m/secであった。

第19図を第18図と比較してみると、風速の分布は、略々同じ傾向であるが、風速の大きさは前者が大となっている。唯、ここで注意すべきは、ラテラルを全開にした場合と、ラテラルを10本閉めた場合とでは、主風路内風速が、前者よりも後者の方が小さいにも拘わらず、



第19図 ラテラル出口の風速分布 (B-風路系, テララル 10 本閉)

ラテラル出口に於ける風速は、逆に、ラテラル10本閉めた方が高くなっていることである。これは、後述の如く、主風路内の静圧が、ラテラルを閉塞したために、ラテラル全開の時よりも可なり高くなっているため、静圧エネルギーが風速エネルギーに変わる場合に、高い静圧の方が、風速が大となるためと考えられる。

### 2. A-風路系のラテラル出口に於ける風速分布

次に、A-乾燥機の15本のラテラルの中、No. 1, No. 2, No. 3, No. 4, No. 5, No. 9, No. 12, No. 13, No. 14に就いて、風速を測定した。

#### (1) 実験方法

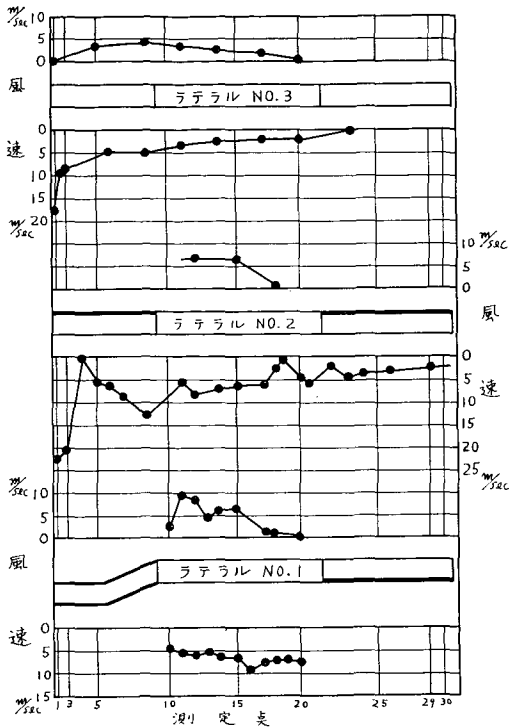
風速の測定法は、B-風路系の場合と同様、ピトー管を用いて行なったが、ラテラル1本当りの測定点は多くとった。又、A-風路系では、ラテラルに調節戸がないので、ラテラルの全開の場合のみについて実験した。

#### (2) 実験結果

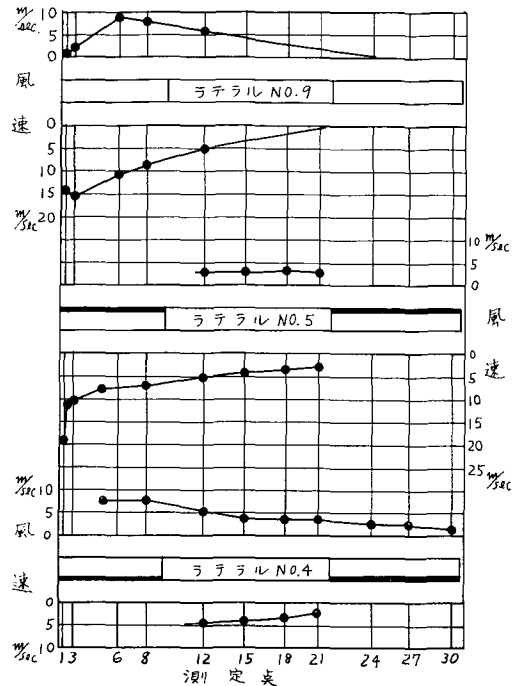
第20図は、実験の結果を示すものである。

第20図と第18図を比較してみると、風速分布は可なり傾向が違っていることが解る。

すなわち、No. 1及び No. 2のラテラルは、その根元で結合し、一本になった特殊なラテラルであるが、その風速分布は凹凸が大で、特に、No. 2は、送風機から出た風が、直接、吹き込んでくる部位になるため、No. 2ラテラルの右側出口に於ける風速は、22 m/sec という大



第20図(A) ラテラル出口の風速分布  
(A-風路系, ラテラル全開)



第20図(B) ラテラル出口の風速分布  
(A-風路系, ラテラル全開)

きな値を示している。

一般に、ラテラルの右側出口に於ける風速が、左側出口に於ける風速より大なることは、予想される所であるが、A-風路系に於いては、その差が大きく、B-風路系の場合に見られた風速分布の対称性は全く失われている。

### 3. 粒状物質による、ラテラル出口に於ける風速分布の判定法

ラテラル出口に於ける風速分布を知ることは、風路系の良否を決める一つの手段として重要なことではあるが、一般の酪農家や有畜農家では、ピトー管とか、精密な圧力計を常備してあるわけではないので、簡単に風速分布を知る方法として、筆者は、粒状物質を用いる方法を考案した。

すなわち、筆者は、さきにピトー管により、ラテラル出口の両側に於ける風速を測定したが、詳細な数値を求めるためには、測定点を多数に取って、連続的な曲線を描かねばならない。ここで述べる方法は、予め乾燥室の床一面に牧草種子を撒布しておき、送風機を運転すれば、ラテラルの出口から出る風によって牧草種子は吹き飛ばされ、床上に、風の強さに対応した一種の様子が形成される。これを写真に撮しておけば、風速分布がよく解る。

勿論、写真に依らずとも、その場で、肉眼により大凡その見当はつき、何処が風が強く、又、何処が風が当たらないかを、判然と識別出来る。尚、撒布する物質は、牧草種子でなくとも、粒状の軽いものであれば何でもよいわけである。本方法によれば、ピトー管によって余り解らなかった、ラテラルの下の支え用横木による風速分布に対する影響がよく解る。すなわち、風は、この横木にあたって左右に分流し、斜めに進むことが知られる。これらのことを、B-風路系についての写真によって説明する。

#### (1) 送風機吸入口全開、ラテラル全開、送風機小屋扉全開の場合の風速分布

写真9は、送風前に、予め、ラテラルとラテラルの間に、牧草種子を撒布した状態の一例を示す。

写真10-①~⑩は、(1)の条件で送風した場合の、各ラテラル間に於ける牧草種子の様態を示したもので、写真の中にある数字は、ラテラルの番号を表すものである。尚、これらの写真は、ラテラルの根元から先端に向かって撮したものである。

写真10① ラテラル No. 1 と No. 2 の間の風速分布

写真10⑩ 同上、主風路に近い部分の風速分布

- 写真10㉔ ラテラル No. 5 と No. 6 の間の、主風路に近い部分の風速分布で、ここは、両側のラテラル出口が閉塞してあるので、風が当たらない。
- 写真10㉕ 同上、ラテラル中央部の風速分布
- 写真10㉖ ラテラル No. 10 と No. 11 の間の風速分布
- 写真10㉗ 同上、主風路に近い部分の風速分布
- 写真10㉘ ラテラル No. 15 と No. 16 の間の風速分布
- 写真10㉙ 同上、主風路に近い部分の風速分布
- 写真10㉚ ラテラル No. 18 と No. 19 の間の風速分布
- 写真10㉛ 同上、主風路に近い部分の風速分布
- 写真10㉜ ラテラル No. 19 の両側に於ける風速分布
- 写真10㉝ 同上、主風路に近い部分の風速分布

(2) ラテラル No. 1~No. 5 閉塞、送風機小屋扉閉め、送風機吸入口 1/2 及び 1/3 遮蔽の場合の風速分布

写真11-㉠, ㉡, ㉢は、送風前の牧草種子の撒布状況を、ラテラル No. 10 と No. 11 の間について示したものである。すなわち、㉠, ㉡, ㉢は、主風路に近い方から、上、中、下の3部分に分けて撮ったものである。

写真12-㉠, ㉡, ㉢は、送風機吸入口を1/2に絞って送風した場合の風速分布を示し、写真13-㉠, ㉡, ㉢は、送風機吸入口を1/3閉じた場合の風速分布を示すものである。これらの写真によって、ラテラル出口に於ける風速分布は、極めて明瞭に解ると思う。

第4節 ラテラル内の静圧分布

ラテラル出口の風速分布は、ラテラル内部の静圧分布によって影響を受けるもので、前述の HENDRIX は、ラテラル出口の風速分布と共に、ラテラル内部の静圧分布を、ラテラルの上面で測定している。彼の場合は、ラテラルの出口が全長に亘って一定の幅を有しているので、静圧分布は、略々風速分布と相似の結果を得ているが、筆者の用いた供試機のラテラルは、ラテラルの位置によって、牛舎の柱を挟む両側のラテラル出口が一部閉塞されている特殊な構造を有するので、これらの特殊な構造を有するラテラルの静圧分布が如何なるものか、これを知る目的で本実験を行なった。通風乾燥機が普及してくると、農家は自己牛舎屋根裏を乾燥室として使用するし、従来の牛舎建築としては、此の柱のあるのが普通になっているので、本実験は実用上、大きな価値あるものと認められる。

尚、本実験は B-風路系のみにおいて行なったものである。

1. ラテラル全開の場合の静圧分布

(1) 実験方法

B-乾燥機 19本のラテラルの中、No. 1, No. 5, No. 6, No. 10, No. 11, No. 15, No. 19の7本に就いて、ラテラル内の静圧を測定した。各ラテラルに就いて、主風路から、8 cm, 80 cm, 180 cm, 325 cm, 430 cm, 540 cm, 700 cm, 854 cmの距離に、夫々測定点を取り、各測定点には径1インチの穴をあけた。静圧管は、長さ75 mm, 内径4 mm, 肉厚0.9 mmの銅パイプよりなる手製のもので、これを各測定点の穴に挿入して静圧を測定した。

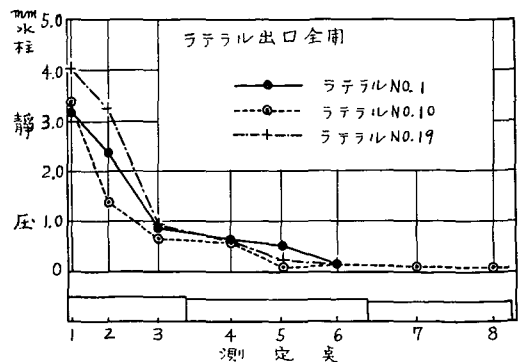
写真14は、静圧測定装置を示すものである。

(2) 実験結果

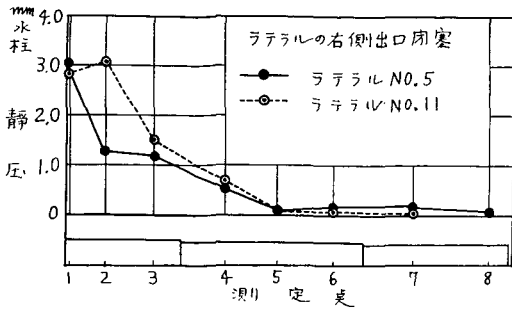
ラテラル No. 1, No. 10, No. 19は、何れも全長に亘って両側に出口があるので、これらは、略々構造の等しいラテラルと見なされるので、その静圧分布を一括して、第21図に示した。同図を見れば解る如く、何れのラテラルも、主風路に近い測定点では静圧が高いが、測定点3から急に低下し、測定点6以後は各ラテラル共殆んど同じく極めて低い静圧値を示している。又、3本のラテラルの中では、No. 10の静圧値が最も低く、No. 19の静圧が最大の値を示している。

ラテラル No. 5 及び No. 11は、主風路に向かって右側の出口が、一部閉塞してあり、構造の等しいラテラルと見做されるので、その静圧分布を一括して第22図に示した。

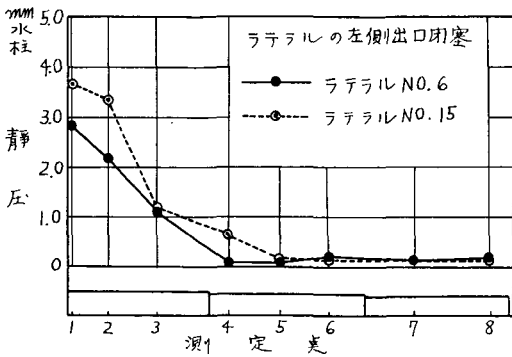
第22図から、静圧値は、主風路に近い所で高くなっていることが解り、これは第21図の場合と同じである。しかし、No. 11のラテラルで、測定点2に於ける静圧が、測定点1より高くなっていることは大きな特徴である。又、第22図では、第21図の場合程、測定点3に於



第21図 ラテラルの静圧分布 (その1)



第22図 ラテラルの静圧分布 (その2)



第23図 ラテラルの静圧分布 (その3)

ける静圧の急激な下降が見られず、測定点5に至って漸く低下の傾向を示している。

次に、ラテラル No. 6 及び No. 15 は、主風路に向かって左側出口の一部が閉塞してある。上と同様にして、これらの静圧分布を第23図に示した。この図から、主風路に近い部分の静圧が高く、第21図及び第22図と同じ静圧分布を示すことが解る。しかし静圧下降の傾斜は、第22図に似ている。又、No. 15 の静圧分布が、No. 11 のそれに近いことに気がつく。

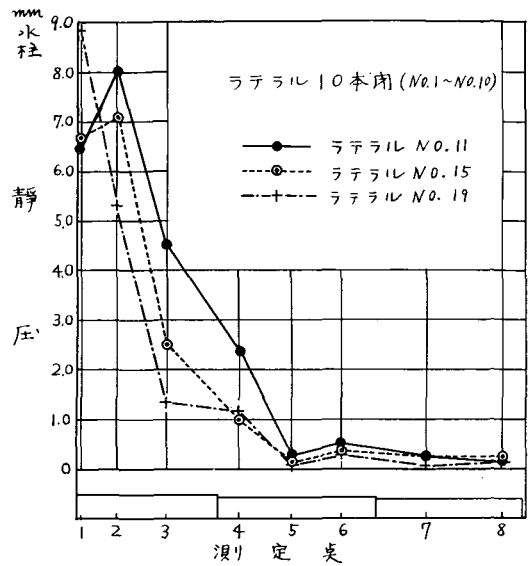
以上、第21図、第22図、第23図を比較してみると、送風機に近いラテラル内の静圧の値は、遠いラテラルの静圧値よりも一般に小さく、又、ラテラル出口を一部閉塞したことによる静圧の増大は、第22図及び第23図より明らかである。しかし、その影響は、精々、測定点4ぐらいまでは顕著であるが、測定点5以下では影響が少くない。

尚、本実験に於ける主風路内の静圧は26 mm 水柱であった。

## 2. ラテラル10本閉塞の場合の静圧分布

### (1) 実験方法

ラテラル No. 1~No. 10 を閉塞した場合の、ラテラル



第24図 ラテラルの静圧分布 (その4)

No. 11, No. 15, No. 19 の静圧分布を求めた。実験の方法は1.の場合と同じである。

### (2) 実験結果

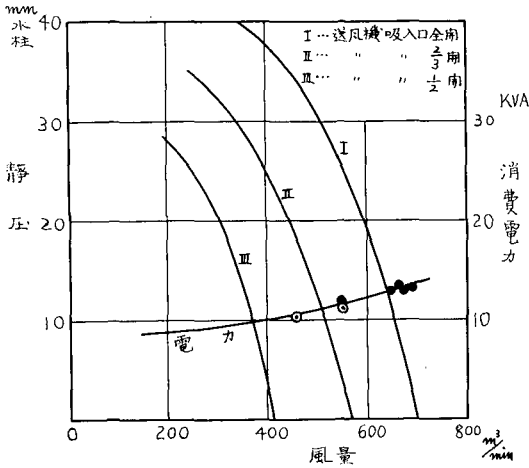
第24図は、実験の結果を示すものである。第24図より、ラテラル No. 11, No. 15 の静圧分布は、夫々、第22図及び第23図と似て居り、ラテラル No. 19 の静圧分布は、第21図に類似していることが解る。しかし、静圧下降の傾向は、何れの場合も、ラテラル全開の場合に比べて、その傾斜が急峻になっている。

## 第5節 送風機並びに駆動電動機の特性

送風機の特性は、工学的には一定の規格に基づいた風洞を使用し、定められた測定法<sup>9)</sup>によって試験すべきであるが、かかる試験は何処でも行なえるものではない。一般に、牧草通風乾燥機に用いられる送風機は、四角形の断面を有する主風路と共に用いるので、外国に於いても、この主風路内の風量を以て送風機の風量とし、これを送風機メーカーの性能表と比較して、検討を行なっている。

筆者は、此の見地から、第1節及び第2節に於いて述べた実験方法によって、主風路内風量を測定し、送風機の特性を求めた、すなわち、第25図は、B-風路系に於ける主風路内の、風量-静圧特性、並びに風量-所要電力特性を示すものである。

供試送風機は、戦前に作られた、玉川製所作の製品で、現在、その性能表は入手出来ない。しかし、ミツヤ送風



第25図 送風機の特性能曲線

機製作所(東京都江東区北砂町1の751)のカタログによれば、同社の多翼送風機 MF 型 #5½ (片側吸込式)が、供試送風機と型、大きさ共に類似しているの、これと比較してみると、概ね、その性能特性が一致していることが解った。

尚、ミツヤ送風機 MF #5½ の性能は第3表の如くである。

第3表 ミツヤ送風機 MF #5½ の特性

回転数 (r.p.m.)	風量 (m³/min)	静圧 (mm 水柱)	軸馬力 (HP)
420	479	32	8.30
420	385	38	6.65

次に、供試電動機は、戦時中の再製品にして、銘板がなく、定格については全く不明である。唯、製作者、高橋徳次郎氏(札幌市)によれば、出力15馬力と云われている。能率、力率共に現地では調査困難なので、一応、電動機の入力を以って測定の対象とした。

供試電動機の電源電圧は237Vで、電動機の無負荷入力電圧230~235Vに於ける入力電流は23~25アンペアであった。この時の電動機の回転数は1485 r.p.m.であった。

### 第9章 考 察

風路系常温通風乾燥機は、第I編に於いて述べた如く、種々の大きさ、形の風路系があり、夫々、一長一短がある。従って、その選択は、凡その規準は示されているが、使用する場所の諸条件を考慮して行なわなければならない。

らない。

トラピストに於いては、次の理由から、側壁主風路型ラテラル付通風乾燥機を採用した。

(1) 牛舎の構造上、柱が非常に多いので、牧草の積込空間を増すために、側壁通風路型を選んだ。

(2) 簀の子式は壁際の風の損失が多く、又、トラピストの牛舎の如く、柱の多い所では製作も簡単でないので、ラテラル式を選んだ。

(3) 牧草積込の作業をするのに、送風機が床の中央にあると、作業が困難となるので、側壁主風路型を採用した。

かくして、製作された供試機の構造を調査の結果、トラピストの現在の状況から判断して、この選択は妥当であったと考える。

#### 1. 供試機の構造に関する考察

供試機の構造を詳細に調査した結果、次の如き特徴を挙げる事が出来る。

(1) 乾燥室が二つあり、一つの送風機によって、各乾燥室に別々に送風出来るようになっている。

(2) 一般に、送風機の排気口は、主風路の方向を向いているが、供試機に於いては、主風路と直角方向を向いている。

(3) 送風機と電動機とは、同一平面上に据付けられないで、伝導ベルトの傾斜が急である。

(4) ラテラル入口に於ける風量調節用は、一般に蝶番式であるのが、引き戸を用いている結果、風量の微調節に便である。

(5) 柱に面するラテラルの出口が閉塞してある。

(6) A-風路系には特殊な三角架が装置されている。

これらの特徴は、何れも現場に則した経験から得られたものである。特に、(5)及び(6)に就いては、興味ある考察と思われ、負荷時に於けるこれらの静圧分布に及ぼす影響は後に述べる。(3)に就いては、伝導損失が大きくなり、送風機の能率を低下せしめられるので、将来、電動機を送風機と同じ床面に据付けるか、或いは、送風機小屋を、もっと張り出すようにすればよいと思う。

#### 2. 供試機の無負荷性能に関する考察

##### (1) 風量の測定法

風量測定の方法は、現場では仲々困難であり、従来、牧草通風乾燥機の風量は、種々の文献に発表されているが、その測定法に就いては明示していない。筆者は、幸いにして、送風機とラテラルとの距離が非常に長い主風路の風路系について実験を行なうことが出来たので、略

々精確な値を求められたと思う。しかし、将来は、もっと一般的な且つ簡易な測定法の基準が必要であろうと考える。

### (2) 主風路の風量

牧草通風乾燥機に於いては、牧草を乾燥機内に積込んだ状態で、充分な風量と静圧が得られればよいわけである。今、A-風路系の有効床面積を、 $18.0\text{ m} \times 11.4\text{ m} = 205\text{ m}^2$ とし、単位有効床面積当りの風量を求めると、第1表から、 $805 \div 205 = 3.93\text{ m}^3/\text{min}/\text{m}^2$ となり、同様にB-風路系の単位床面積当りの風量を求めると、 $2.88\text{ m}^3/\text{min}/\text{m}^2$ となる。これらの値を、アメリカの設計基準<sup>24)</sup>の $3.02\text{ m}^3/\text{min}/\text{m}^2$  (10 cfm)~ $6.04\text{ m}^3/\text{min}/\text{m}^2$  (20 cfm)と比べると、幾らか少ないように思われる。しかし、牧草を積込んだ場合に、静圧の増加と共に風量が余り低下しなければ、この程度の風量で差し支えないと思う。

一方、主風路断面の単位面積当りの風量は、A-風路系に於いては $630.7\text{ m}^3/\text{min}/\text{m}^2$ 、B-風路系に於いては $510.0\text{ m}^3/\text{min}/\text{m}^2$ となり、何れも充分大きな断面を有している。

又、ラテラルの出口の面積は、A-風路系では、 $6.4746\text{ m}^2$  B-風路系では $8.3155\text{ m}^2$ と計算されるので、ラテラル出口断面当りの風量は、夫々、 $124\text{ m}^3/\text{min}/\text{m}^2$ 及び $83\text{ m}^3/\text{min}/\text{m}^2$ となる。一般に $1\text{ m}^2$ 当り $14.6\text{ m}^3/\text{min}$ と云われているので、充分の大きさがあることが解る。

### (3) ラテラルの風速並びに静圧分布

ラテラルの風速並びに静圧分布に就いては、HENDRIXやKRAMERが発表しているが、HENDRIXによれば、主風路の直ぐ近くに、風速並びに静圧の低い点があると発表している。筆者の実験結果でも、大体同じ傾向になっているが、ラテラル出口が閉塞してある点が異なっているので、これらの影響が現われていると解釈した。

しかし、ラテラル出口の風の方向及び風速の解り易い判断法として粒子状の物質を利用することは、実用的であると考えられる。

### (4) 送風機並びに駆動電動機の特性

送風機の性能は、製作者のカタログによって大凡を知ることが出来るので、これから選択すればよいわけであるが、供試機に使用されている送風機に就いては、カタログの性能曲線が得られなかったので、乾燥機に取りつけたままの送風機性能を調査した。一般に、供試機の如く、前傾多翼羽根の遠心型送風機は、過負荷になる恐れがあると云はれているが、筆者の行なった測定の結果では、それ程顕著な過負荷特性はみられなかった。これは、無負荷時と云っても、主風路、又はラテラルによっ

て、風が可なり制限されているためと考えられる。

次に、送風機の最大負荷時に於ける電動機の入力は、 $14\text{ kVA}$ であったが、力率80%と仮定した場合の有効電力を求めてみると、 $11.2\text{ kW} \approx 14.9\text{ HP}$ となり、大体、全負荷運転状態になっていることが解る。

## 第III編 風路系常温通風乾燥機による牧草の乾燥性能に関する実験並びに調査

### 第10章 緒言

第II編に於いて述べた如く、トラピストの、供試風路系常温通風乾燥機の基礎的性能は、合理的、且つ、満足すべきものであることを実験的に確認した。かように基礎的には合理的性能を有する乾燥機であっても、真の乾燥機の性能は、実際に牧草を乾燥した結果が良好でなければ、何の役にも立たない。この見地に立って、筆者は、供試機の乾燥性能に関する実験、並びに調査を行なった。

元より、牧草の乾燥過程は、乾燥機のおかれている立地条件、牧草の予措、乾燥機積込後の乾燥経過・送風機の運転条件等によって影響を受けるものであり、これらの総合的結果として、仕上り乾牧草の品質に差異が現われるわけであるが、筆者は、始めに、トラピストの地理的並びに気象的等の、立地条件を調査した。

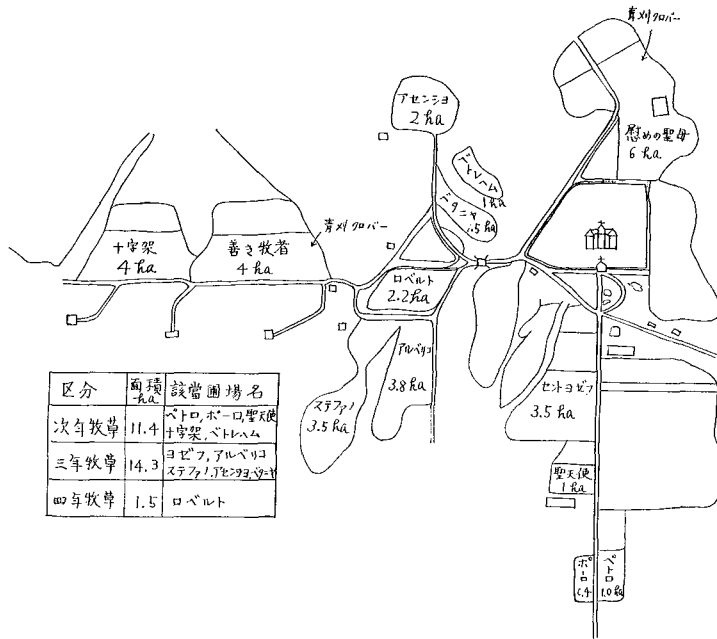
次に、昭和33年の二番草、及び、昭和34年の一番草に就いて、それらの予措、並びに、乾燥機積込後の乾燥経過に関する調査を行ない、これらの牧草を供試牧草として、乾燥機の乾燥性能に関する実験を行なった。特に、乾燥機の性能に深い関連を有する静圧・温度・水分等の諸因子に就いては、それらの有機的な相関を考究した。

以上の実験・調査によって、トラピストの風路系牧草常温通風乾燥機に対し、科学的な裏付を行なうと共に、結論に於いて、これらの結果を総括し、今後の風路系牧草常温通風乾燥機の使用・運転・操作に関する体系を、確立しようとして、所見を述べることにする。

### 第11章 供試機のおかれている立地条件に関する調査

#### 1. 調査の目的・内容、並びにその方法

供試機のおかれている立地条件は、牧草乾燥の基盤をなし、広い意味では、牧草予措の一部とも考えられるが、供試機の乾燥性能を知る上に、予め知る必要があるため、本調査を実施した。調査の内容は、採草地の地理的条件、採草地の気象的条件、及び、乳牛の飼育計画で



第26図 トラピストに於ける、昭和34年の作付計画図

あるが、更に、牧草の予措に使用される農機具に就いても調査を行なった。

調査方法は、観察、若しくは聴取りによるものである。

2. 調査結果

供試機のあるトラピスト大修道院は、北海道上磯郡字三石に存り、津軽海峡に面した山の斜面に、その本館が建てられている。修道院では、古くから酪農経営による自給自足を図って来たので、農地の大部分は、牧草を始め、種々の飼料作物によって占められている。すなわち第26図は修道院の農地を表わす略図であるが、凡そ70haの耕地面積に対し、昭和34年度の作付反別は、第4表の如くで、採草地は24.9haとなっている。

第4表 トラピストに於ける作付反別 (昭和34年度)

作物の種類	作付面積 (ha)	作物の種類	作付面積 (ha)
乾牧草	24.9	大豆	1.0
放牧地	5.0	小豆	1.0
青刈クローバー	10.0	家畜ビート	1.5
燕麦	11.0	家畜カブ	2.2
デントコーン	7.5	家畜カボチャ	0.8
青刈大豆	1.0	ルーサン	0.5

各区分された圃場には第26図に示すようなカトリック的な名称が附されているが、筆者は以後これらの名称を各採草地の名称として使用する。

かような作付面積に対し、昭和34年6月23日現在の飼育乳牛の数は成牛40頭、仔牛14頭、牡2頭計56頭であり、乾牧草の需要期は10月末より4月末までで、此の間、約120トンの乾牧草が必要とされている。

次に、牧草乾燥に関係の深い6~10月の気象条件を調査したが、昭和33年二番草収穫時の天気、気温、風向を第5表に示し、昭和34年一番草の収穫時に於ける気象条件を第27図に示した。

気象条件の調査に当っては、昭和33年に就いては木古内気象観測所、昭和34年に就いては函館海洋気象台の観測記録を用いた。

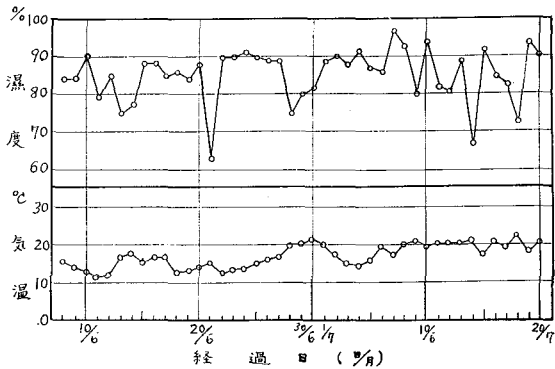
トラピストに於いて現用されている牧草収穫用農機具に就いて調査した結果は次の如くであった。

1. 刈取機 トラクター用モアが2台あり1台はInternational Harvester co.製の3インチ18枚刃、他の1台はLanzの3吋18枚刃で、これをファーガソンco.のトラクター用或は馬曳用として使用している。この他にロシヤ鎌及び手鎌が若干あり、防雪林の苗木の近くの牧草はこれらの人力用鎌で刈取っている。

2. 牧草反転機 馬曳用テッダーが2台あり、刈取り後の牧草を反転、地干を助ける。

第5表 昭和33年8月29日～10月9日の気象記録（午前9時現在）

月 日	8.29	8.30	8.31	9.1	9.2	9.3	9.4	9.5	9.6	9.7	9.8	9.9	9.10	9.11
気温(°C)	22.2	19.8	19.6	19.7	19.0	19.7	21.2	19.5	21.9	18.9	22.0	22.7	21.6	22.4
天気	⊙	⊙	○	⊙	●	⊙	⊙	●	⊙	●	⊙	⊙	⊙	⊙
風向	S	S	S	SE	SE	—	SE	S	S	SE	E	E	S	S
月 日	9.12	9.13	9.14	9.15	9.16	9.17	9.18	9.19	9.20	9.21	9.22	9.23	9.24	9.25
気温(°C)	23.4	23.5	21.0	21.4	22.0	17.7	17.0	20.0	17.5	15.1	16.0	17.7	15.0	18.0
天気	⊙	○	⊙	⊙	●	⊙	●	⊙	⊙	○	⊙	⊙	●	⊙
風向	W	E	W	E	S	W	S	NW	E	—	NW	SE	E	E
月 日	9.26	9.27	9.28	9.29	9.30	10.1	10.2	10.3	10.4	10.5	10.6	10.7	10.8	10.9
気温(°C)	17.0	12.0	17.7	17.4	15.0	17.0	16.0	15.2	12.0	15.6	15.7	15.5	12.1	15.7
天気	⊙	●	⊙	⊙	⊙	●	○	○	○	○	○	○	⊙	⊙
風向	S	SE	SE	NW	—	E	W	W	W	S	NW	S	—	SE



第27図 昭和34年6月8日～7月20日の気温、及び湿度の変化状況

3. 集草機 馬曳用ヘーレーキ2台で、夕方、牧草の集草に使われる。

4. 堆積用機械 人力用ヘーフォーク十数本あり、この中には外国製のものも含まれている。堆積に用いられる。

次に牧草の運搬用農機具として次の如きものが使用されている。

大型トラック	1台
トラクター用トレーラ	1台
馬車	3台
三輪車	1台

## 第12章 供試牧草の積込前の予措に関する調査

牧草の常温通風乾燥に於いては、既に第I編にも述べ

た如く、刈取った牧草を直ちに乾燥機へ投入するわけではなく、その前に圃場で、含水率を40%程度に軽減せしめるため、種々の行程を経るのが特徴である。この、圃場に於ける、牧草の積込前の行程を総称して、牧草の予措(hay handling)と称している。又、この行程は、乾燥機中の乾燥行程に対して、圃場で予備的に乾燥が行なわれるので、牧草の予乾(field curing)と呼ばれ、積込後の乾燥行程を、牧草の仕上げ乾燥(hay finishing)と呼ぶこともある。

牧草予措の行程は、牧草の刈取、反転、地干、集草、山積、運搬及び乾燥機への積込等の諸作業を含み、これらの作業行程は、牧草の刈取時期、天候、乾燥機の容量及び性能、使用農機具等と密接な関連を有すると同時に、乾燥機へ積込後の、所謂、仕上げ乾燥に大きな影響を持つものである。従って、牧草の通風乾燥を行なう上に、予措の良否は、直接、仕上り乾牧草の品質に影響し、又、乾牧草の収量をも左右するので、予措の作業は、自然乾燥に於けると同様、細心の注意を払って実施すべきである。

外国に於いても、予措の重要性を説いている研究者<sup>55)</sup>もあるが、多くは、乾燥機中の乾燥行程のみを論じ、予措の行程に就いては、単に、一般的なことが報告されているに過ぎない。一方、予措の行程は、気候、風土、牧草の種類、牧草の性状、水分含量等によって、地域的に異なるものであるから、一概に、外国の方法をそのまま適用することは、適切であるとは思われない。

かかる見地から、筆者は、北海道、ひいては我が国に

於ける、牧草の予措に関する基準体系を確立する目的で、現在、トラピストに於いて行なわれている牧草の予措について詳細なる調査を行なった。以下、これを4節に分けて述べることにする。

### 第1節 供試牧草の種類・性状及び収穫時期に関する調査

#### 1. 調査の目的・内容・及び方法

牧草通風乾燥に於ける予措に於いて、牧草の種類・性状・及び収穫時期も亦、重要な問題である。すなわち、牧草の種類によって生草の水分含量が異なるために、予措中の乾燥速度が違い、機械的強度が異なることによる葉落ちの多寡を生じ、牧草の性状によって、乾燥の方式が異なるが如きである。又、同一種類の牧草でも、成育時期によってその栄養価が異なるので、収穫適期を失ないようにしなければならない。

かような見地から、筆者は、供試牧草の種類・性状及び収穫時期について調査を行なった。

調査の方法は、観察又は簡単な実測によった。

## 2. 調査結果

### (1) 供試牧草の種類及び性状

一般に、乾牧草として利用される牧草の主な種類は禾本科と荳科に大別され、両者の混じった場合もあるが、これらの一番草及び二番草が乾燥用として収穫されるわけである。又、牧草は播種後の経過年数によって次年、三年、四年牧草等に分ける事が出来る。

トラピストの供試牧草は、オーチャード及びレッドクローバーの混合せるもので、次年、三年を主とし僅かの四年牧草とから成っていて、その一番刈及び二番刈牧草が乾牧草用に供されている。筆者は供試牧草の2, 3についてオーチャードとレッドクローバーの混合割合、草丈、水分含量、単位面積当りの重量等を調査した。調査はロベルト及びアルペリコの夫々4年及び三年牧草に就いて行なったもので、調査区は2×2mにとった。調査の結果を第6表に示したが、本表から供試牧草はオーチャードが主体であることが分る。写真15及び16は調査状況を示す。

次にここでいう牧草の性状とは、刈取った牧草を乾燥

第6表 供試牧草の種類並びに性状

圃場区分	牧草の種類	株数	草丈 (cm)	重量 (kg)	含水率 (%)	単位面積当り重量 (kg/m <sup>2</sup> )
ロベルト	オーチャード	97	130	9.40	76.5	2.27
	レッドクローバー	12				
アルペリコ	オーチャード	—	120	6.05	75.0	1.49
	赤ラジノクローバー	5				

機に投入する場合の状態のことで、長草 (long hay)、細断草 (chopped hay)、梱包草 (baled hay) の別がある。

供試牧草は長草のまま乾燥に供された。

#### (2) 供試牧草の収穫時期

トラピストでは、オーチャードの場合、概ね出穂後一週間～10日にして開花するが6月上旬開花直前に刈取り始め、6月中旬に刈終るのが常とされている。しかし天候や、労力の按分の点で多少おくれることがあり、昭和34年度に於いては6月8日ヨゼフの開花直前に刈取り始め、7月1日、善き牧者の刈終りまで可なりの日数を要した。

以上が一番草の場合であるが、二番草は、一番草の刈取り時期によって左右されるが、大体8月下旬に刈られるのが普通で、昭和33年トラピストでは8月29日より9月12日の間に刈取られた。

### 第2節 供試牧草の収穫並びに積込法に関する調査

#### 1. 調査目的

牧草の収穫並びに積込法は、牧草の予措行程の中心をなすもので、狭い意味では、これだけを予措と称している場合もある。

牧草の収穫とは、刈取の計画、刈取の時間、刈取った牧草の反転、地干、集草、山積、等の圃場に於ける調製を総括的に指し、収穫の行程を終ったものが乾燥機に運ばれ、積込まれるわけである。これらのすべての行程が、乾燥機による乾燥過程乃至は仕上り乾牧草に影響するもので、夫々の作業に使用される牧草調製の農機具及び運搬用具等も直接又は間接にこれらの予措に関係を有するものである。

かかる見地から筆者は供試牧草についてその収穫並び

に積込法に関する調査を行なった。

## 2. 調査項目並びに調査方法

調査の範囲は、刈取り積込までの全行程に亘るものであるが、次の4項目に分けて調査を行なった。

- (1) 刈取計画に関する調査
- (2) 刈取作業並びに圃場に於ける刈取牧草の調製処理に関する調査
- (3) 牧草の運搬及び収量に関する調査
- (4) 牧草の乾燥室への積込に関する調査

これらの各調査項目について得られた結果を以下順を追って説明し最後に昭和33年の二番草及び昭和34年の一番草についてこれらを総括する。

## 3. 調査結果並びに考察

### (1) 刈取計画に関する調査

昭和33年の二番草及び昭和34年の一番草に就いて、実際に行なわれた刈取日程を圃場で観察し、その結果を圃場区分別にして第7表に示した。

第7表 供試牧草の刈取日程

圃場区分	昭和34年 一番草刈取日 (月 日)	昭和33年 二番草刈取日 (月 日)
ヨゼフ	6. 8	8.29
ベトロ	6.11	—
守護の天使	6.11	—
ロベルト	6.15	9.12
アルベリコ	6.15	9. 2
ステファノ	6.16	9. 4
十字架	6.17	9.10
アセンシヨ	6.22	9. 7 9. 8
ベトレヘム	6.22	—
ベタニヤ	6.23	9. 7 9. 8 9. 9
慰めの聖母	6.29	—
善き牧者	7. 1	—

本表に示す如く、各牧草は2~3日間隔で刈取られ、昭和34年の一番草は刈取延日数22日、正味9日を要し、二番草は、昭和33年に於いて、刈取延日数15日、正味8日を要し、昭和34年に於いて夫々延日数10日及び正味6日を要している。本表に示す如く刈取が毎日続け行なわれていないのは、刈取後、刈取牧草の圃場に於

ける反転集草、堆積などの作業があり、更に乾燥機に牧草を運搬する作業もあるので、労力の按分のためと、乾燥機え一回に積込む牧草の量には或限度があるためである。

その上、刈取計画は圃場に於ける、前に刈取った牧草の乾燥の状態、天候の変化、積込計画等を睨み合せて立てなければならないので、担当者の最も熟練と経験とを要するものである。

### (2) 刈取作業並びに圃場に於ける刈取牧草の調製処理に関する調査

昭和34年6月8日より6月13日に至る間、ヨゼフの牧草刈取作業並びに圃場に於ける刈取牧草の調製処理に関して調査した結果を日を追って述べる。

6月8日 馬曳用モータ及びトラクター用モータ各1台が刈取りに供せられた。馬引用モータは午前5時30分より午前11時30分まで6時間を要し、トラクター用モータは午前8時30分より午前11時30分まで3時間を要した。モータ刈取作業の状況を写真17に示す。モータにて刈り倒された牧草は、午前8時より2台の馬曳用テッダーにて1回反転され、地干のままこの日はそのまま放置された。反転の状況が写真18に示してある。

6月9日 前日ひろげたまま放置された牧草は、午前中馬曳用テッダー2台にて1回反転され、午後、馬曳用レーキ2台にて集草し、一方集草したものを人力用のフォークで小山につまられた。小山は高さ0.7m、底径1.7mの円錐形である。写真19に集草用のレーキが示してある。

6月10日 午前中、前日、小山に積まれた牧草をフォークでひろげ、前日と同様テッダーにて反転、午後は高さ1.5m、底径1.7mの中山に積まれた。

6月11日 午前中に前日の中山をひろげ、午後レーキ2台にて集草、高さ1.6m底径2.0mの大山に積まれた。この大山の一部が乾燥室へ運搬、積込まれた。

6月12日 日曜日のため1日中大山のまま放置された。

6月13日 午前中大山をひろげ、風を通し地干を行ない、午後、レーキで集草しながら乾燥室へ運搬、積込が行なわれた。

以上がヨゼフに就いて行なった調査結果であるが、本作業中の小山、中山、大山の写真を写真20-①-③に示し、写真21 ①-③は小山及び大山の圃場に並んだ状態である。写真22は、これらの山を崩して地干にする場合の作業状態を示すものである。

これらの刈取、反転、地干、集草、山積、ひろげるの諸作業は何れも太陽熱と自然通風によって充分乾燥効果

第8表 供試牧草の予措日程 (昭和34年一番草)

		月日	6月8日	6月9日	6月10日	6月11日	6月12日	6月13日	
		天気	曇	晴 曇ったり	曇	曇 後雨	曇	晴	
第一回積込分	ヨセフ	作業の種類	刈反放	取転置 反集小山堆	ひろげる 反集小山堆	ひろげる 集草大一部積込	大山の まま放置	積込	
		月日	6月11日	6月12日	6月13日	6月14日	6月15日		
第三回積込分	ベクトロ	天気	曇 後雨	曇	晴	晴 曇ったり	曇 時々雨		
		作業の種類	刈反集小山	ひろげる 取転置	集草小山堆	ひろげる 集草中	ひろげる 集草積込		
第四回積込分	アルペルト	月日	6月15日	6月18日	6月17日	6月18日			
		天気	曇 時々雨	曇	晴	曇			
		作業の種類	刈反集小山	ひろげる 反集小山堆	ひろげる 反集小山堆 一部積込	ひろげる 反集草積込			
第五回積込分	ステファノ	月日	6月16日	6月17日	6月18日	6月19日	6月20日	6月21日	7月22日
		天気	曇	晴	曇	曇	曇	曇	曇
		作業の種類	刈反集小山	ひろげる 反集小山堆	ひろげる 反集小山堆	小山のま ま放置	ひろげる 反集草 一部積込	残り は小山の まま置	積込

を挙げ、夜間の雨露を避けるために行なわれるものであるが、これらの作業中に屢々雨に遭い、牧草の品位を下げる例も少なくない。

次に、同様にして昭和34年、A-牧草室に積込まれた各圃場の牧草全部に就いて、刈取り作業並びに刈取り牧草の圃場に於ける調製処理に関する調査の結果を第8表に示した。

### (3) 牧草の運搬に関する調査

牧草を刈取り、地干して、乾燥機え積み込むのに適当な状態になったものは、各種の運搬用農機具によって、乾燥機のある所まで運搬される。此の作業も予措の一部として考えられ、運搬中の損失を出来るだけ少なくし、能率を上げることが大切である。

トラピストに於いては、普通ならば、刈取り後3日目で大に積み、これを直ちに乾燥機に運ぶ。各採草地は、乾燥機の位置から1km内外の地点にあり、あらゆる機

動力を発揮して運搬に当たっている。すなわち、運搬用農機具として、トラクター牽引のトレーラー1台、大型トラック1台、馬車2~3台、及び三輪車が動員された。夫々の運搬量は、トレーラーとトラックは大体同じで、大山8つ(0.8~1.0トン)を積載し、馬車及び三輪車は、大山3つを積載することが出来る。従って、馬車及び三輪車は夫々3台で大凡そトラック又はトレーラー1台分に相当することになる。各運搬車えの積込は、人力でフォークを使って行ない、ヨセフの場合、3.5ha分の牧草を運搬するのに、トレーラー1台、トラック1台、馬車2台を用いて、正味、約7時間を要した。写真23は、牧草をトラックえ積載している状況を示すものである。

### (4) 牧草の乾燥室えの積込に関する調査

刈取り後、圃場で必要な予乾を行なった牧草は、普通は、大山に積んで運搬の準備をなし、各種の運搬用農機具によって乾燥機に運搬される。運搬車が、牛舎中央の

入口から入ると、牛舎の天井から、写真24-A, Bの如きキャリアー (overhead fork) が下され、運搬車に積んだ牧草を吊り上げ、レールによって、A-乾燥室、又はB-乾燥室に運ばれ、牧草は適当な地点で落下せしめられる。すると、キャリアーの下の数人が、フォークを用いて牧草を乾燥室内に散ぎちらし、室内に平均に積むようにする。この時、前にも述べた如く、乾燥室内に柱が多いために、稍々もすると、乾燥室両側の壁際及び奥の壁際に草が積まれる。このことは、将来、これら側壁に近い部分に於ける風の損失が大となる原因をなすものである。

写真25は、キャリアーから落された牧草の山を、平均にならし終って、次の牧草の山を待っている所を示すものである。

一回の積込の分量をどの程度にするか、又、積み終りの高さはどの位が適当か、これらを決定する要素は、積込時の水分含量、稼働人員、運搬能力、運搬距離等によって左右されるものである。トラピストに於ける積込法は、一番草及び二番草共、一つの乾燥室へ積み込む回数は5~7回程度で、1回の積み高さは200 cm以下、積込完了時の高さは、450 cm位である。尤も、牧草は、次々に積まれると、下方に積まれた分は密度が増大し、高さも低くなるので、牧草表面の高さだけで積込量を判断することは出来ない。

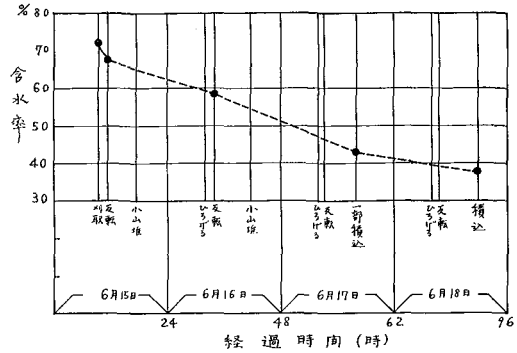
第3節 予措中の乾燥経過に関する調査

牧草の予措は、刈取りに始まり、積込に終るわけであるが、此の間の操作は、要するに乾燥機へ積み込むまでに、如何にして牧草の水分を少なくし、しかも圃場に於ける損失を最小に止めるかということである。トラピストに於いては、第2節に述べた如く、刈り取った牧草をテッターで反転して天日乾燥を援け、山積みを行なうことによって夜間の雨露を避けている。

さて、この予措中に、供試牧草が、如何なる乾燥過程を経るかを知るために、筆者は、ロベルトの一番草について、刈取りより積込までの水分含量の変化を調査した。水分含量の測定には、KETTの赤外線含水率計を用いた。

第28図は、測定の結果を示すものである。

ロベルトの供試牧草は、昭和34年6月15日に刈取り、その時の水分含量72.6%、刈取後直ちにテッターにて反転、反転後2時間の含水率は66.7%となった。これを集草、小山にしておき、翌日ひろげてテッターを2回掛けた時の含水率は58.8%であった。更に、次の日、同じよ



第28図 予措中に於ける供試牧草の含水率の変化

第9表 供試牧草の刈取時及び積込時に於ける含水率

圃場区分	刈取時含水率 (%)	積込時含水率 (%)
ヨゼフ	75.0	44.2 34.7
ロベルト	72.6	43.1 38.7
アルベリコ	72.3	—
ペトロ	—	28.1
アセンシヨ	—	20.5
慰めの聖母	—	25.2 23.5
十字架	—	14.7
ステファノ	—	16.6

うに地干を繰り返す、その一部を乾燥機へ積込んだ。積込時の含水率は43.1%であった。圃場に残された牧草は、次の日、もう一度、ひろげ、反転、集草、山積を繰返した後、全部の牧草を積込んだ。積込時の含水率は38.7%であった。

他の採草圃場の供試牧草も、大体、かような過程を経るのであるが、それらの含水率は、生草で71~76%、積込時で35~47%となっている。第9表は、各採草圃場に於ける、牧草の刈取り時及び収納時の含水率を示したものである。本表から解る如く、アセンシヨ、慰めの聖母、十字架、ステファノ等の牧草は、予措期間が非常に長くなっている。従って、乾燥はよく進んでいるが、予措中に雨や海霧に遭っているため、収納時に於ける牧草は、褐色又は黒色に変色した部分が多く、寝わりにしかならない程度の品質であった。

ヨゼフ、ロベルト、アルベリコ、ペトロは、何れも乾

乾燥機に積込まれたもので、積込時の水分としては普通である。次に、昭和33年の二番草については、積込時の平均含水率が28.6%で、予措の効果は大であった。

#### 第4節 供試牧草の予措に関する総括

以上、昭和33年の二番草、並びに、昭和34年の一番草の予措に関する調査を、3節に互って述べてきたが、これらの供試牧草の中、昭和33年の二番草は、B-乾燥

機によって乾燥され、昭和34年の一番草は、第1回より第5回の積込までがA-乾燥機、それ以後、積込の分はB-乾燥機によって夫々乾燥された。

第13章以下に述べる実験に於いては、B-風路系乾燥機に積込まれた昭和34年の一番草を供試牧草とした。

ここに、これらの供試牧草に就いての予措行程を総括し、第10表、並びに、第11表に表示しておく。

尚、これら二群の供試牧草を、便宜上、供試牧草33-B

第10表 供試牧草33-B(昭和33年二番草)の予措行程

積込回数	刈取日 (月日)	刈取圃場名	刈取面積 (ha)	予措日数 (日)	積込日 (月日)	積込量 (台)	積込重量 (トン)	積込時含水率 (%)	積み高さ (cm)
第1回	8.29	ヨゼフ	4.0	4	9.1	馬車 11 トラック 3 トレーラー 4	9	27.6	100
第2回	9.2	アルベリコ	3.5	5	9.6	三輪車 2 トラック 3 トレーラー 3	4	29.5	150
第3回	9.4	ステファノ	3.5	5	9.8	三輪車 4 トラック 5 トレーラー 4	6.5	25.0	210
第4回	9.7 9.8	アセンシヨ ベタニヤ	—	3 2	9.9	馬車 6 三輪車 5 トレーラー 4	5.5	26.7	270
第5回	9.9	ルルド ベタニヤ	—	2	9.10	馬車 3 トラック 2.5 トレーラー 3	4.5	35.0	300
第6回		レーキ跡牧草	—	—	9.11	馬車 3 トレーラー 2	2	28.8	310
第7回	9.10	十字架	1.0	3	9.12	トラック 2	1.5	28.0	320
第8回	9.12	ロベルト	1.1	4	9.15	トレーラー 4	2.5	29.5	350

第11表 供試牧草34-A(昭和34年一番草)の予措行程

積込回数	刈取日 (月日)	刈取圃場名	刈取面積 (ha)	予措日数 (日)	積込日 (月日)	積込量 (台)	積込重量 (トン)	積込時含水率 (%)	積み高さ (cm)
第1回	6.8	ヨゼフ	5.0	4	6.11	馬車 2 トラック 2	2.1	44.2	45
第2回	6.8	ヨゼフ		5	6.13	馬車 7 トラック 5 トレーラー 6	11.9	34.7	220
第3回	6.11	ペトロ	1.2	4	6.15	馬車 1 トラック 2 トレーラー 1	2.9	28.1	250
		守護の天使	1.0	4	6.15	馬車 2 トラック 2 トレーラー 1	3.1	36.5	
第4回	6.15	ロベルト アルベリコ	6.0	3	6.17	馬車 4 トラック 3 トレーラー 3	6.5	43.1	270
第5回	6.15	ロベルト アルベリコ		4	6.18	馬車 2 トラック 4 トレーラー 4	7.7	38.7	430

及び、供試牧草 34-A と名づける。

### 第 13 章 供試牧草の乾燥機中に於ける乾燥経過の概略

前章に述べた如く、圃場に於いて所定の予措過程を終えた収草は、A- 及び B- 風路系乾燥機に積み込まれて、仕上げ乾燥の行程に移るわけであるが、筆者は、供試牧草 33-B、並びに、34-A を乾燥した場合の乾燥経過に就いて調査を行なった。

#### 第 1 節 一番草の乾燥経過に関する調査

##### 1. 調査の目的

圃場に於いて、所定の予措を終り、或る程度まで含水率を低下せしめた一番収草が、風路系常温通風乾燥機に積み込まれた時から、乾燥仕上りまでの乾燥経過を知る目的で本調査を実施した。

##### 2. 調査の方法及び調査項目

調査方法は、観察と実測とによった。

調査項目は、送風機の運転法及び運転時間、乾燥経過中の含水率、気温、湿度、仕上り牧草の品質等で、調査の期間は、6月11日より7月13日までの4週間に及ぶ長期間であった。

##### 3. 調査結果並びに考察

普通は、第1回の積込が終ると直ちに送風が始まり、毎日午前及び午後に雨又は海霧のない日を選び夫々2時間程度送風するのであるが、本調査中は多少不規則であった。すなわち第1回より第5回の積込完了まで送風された延時間数は11時間42分、その後、乾燥仕上りまでに74時間53分を要し、合計86時間35分を要した。

調査期間中の気温並びに湿度は第27図に示す如く低温多湿にして、晴天の日は僅かに5日という悪条件であったため、常温通風乾燥の条件としては極めて不利であった。従って第1回の積込後5日目にして既に堆積牧草中には醗酵の兆が現われ、牧草の乾燥というよりはむしろ牧草中の熱の放散を援けるための送風の効果が多かったようである。

次に、乾燥過程中の含水率の変化を調査してみると、積み込完了翌日(6月19日)の平均含水率は35.4%であったが、7月11日に漸く20.0%に下り乾燥が一応終了したものと見なされた。普通は積込終了後2週間程度の送風にて仕上ると云われているが、本調査では実に4週間を要したわけである。

しかし、かような悪い条件の下では、牧草の自然乾燥は極めて困難で、雨露に依る栄養分の流亡と醗酵腐敗が

起り、仕上り乾牧草の色彩その他の品質は悪く、損害は莫大である。実際附近の酪農家では乾牧草の収穫は皆無と云われ、僅かに褥草程度のものしか得られなかった。然るに送風の妙を得れば腐敗することはなく、仕上り乾牧草は自然乾燥による乾牧草に比べて品質がよいのみならず損失の点でもはるかに少ない良質乾牧草を得られる結果となっている。

#### 第 2 節 二番草の乾燥経過に関する調査

##### 1. 調査の目的

二番草の予措後、風路系常温通風乾燥機に於ける乾燥経過を知る目的で本調査を実施した。

##### 2. 調査の方法及び調査項目

供試牧草 33-B を B- 風路系乾燥機に積み込んだ場合を、一番草と同様にして調査を行なった。

##### 3. 調査結果並びに考察

第1回の積込後直ちに送風を開始、9月15日までに送風時間は30時間20分、その後10月30日まで約32時間の送風を要し、合計62時間送風した。

水分は、生草の時に71~75%、積込時平均28.6%のものが、積込完了後2週間にして20%に下り、10月11日では16.7%になった。本調査では、9月8、9、10日の如く天気が快晴続きの時に夫々1日5、6、8.5時間送風を行なったので、その乾燥効果が顕著に現われ、発熱及び醗酵は見られなかった。

一般に、二番草は一番草よりも良好な予措の効果が非常に大なることが、乾燥速度の速い原因と思われる。

### 第 14 章 乾燥過程中に於ける供試機の送風量並びに静圧特性に関する実験

第2編第3章に於いて、筆者は風路系牧草通風乾燥機の無負荷時に於ける諸特性に就いて述べたが、本章に於いては、同供試機に実際に牧草を積込んだ場合の送風量並びに静圧特性に就いて実測を行なった結果を述べる。

一般に、アメリカでは<sup>39)</sup>、T.V.A 標準型通風乾燥機が出現した当時、乾燥に必要な風量は、長草状の牧草の場合、積み高さ15ftに対して有効床面積1平方ft当たり静圧1/2''~1''の下で10c.f.m.と云われていたが、その後次第に、その増加が要求されて12c.f.m.となり、更に最近では16c.f.m.~20c.f.m.などと云われるに至った。しかし、此の値はまちまちで牧草の種類、含水率、密度、積み高さが違えば、自ら変動がある。

そこで筆者は、供試一番草並びに二番草に就いて、牧草の積み高さと同風量並びに静圧との間の関係を求め、次

に、一定の積み高さに達した供試材料に就いて、乾燥の進展と共に風量並びに静圧が如何に変るかを知らぬ目的で実験を行なった。又、風量若しくは静圧の簡単な表示法に就いて実験を行なった。

### 第1節 牧草の積み高さ主風路内の送風量並びに静圧との関係

#### 1. 実験目的

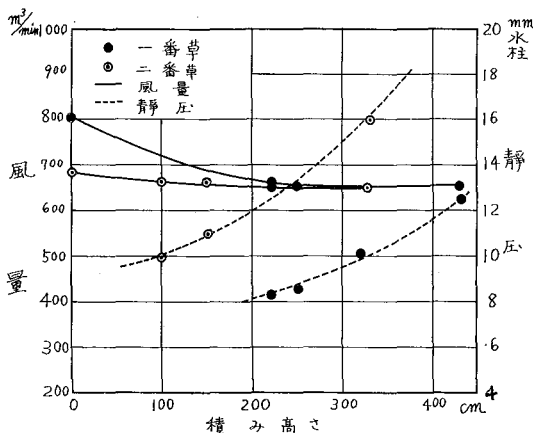
風路系牧草通風乾燥機に於いては、牧草の積み高さが変わると、主風路内の静圧が変わり、従って風量も変わることが知られている。又、その変化の様子も、実験室又は小規模の乾燥機に就いては一応実験式として表わされているが、規模の大きな乾燥機に就いては実際に牧草を積込んだ状態で一々実験をする必要がある。筆者は供試機 A 及び B に夫々一番草及び二番草を積んだ場合についてこれらの関係を知る目的で本実験を行なった。

#### 2. 実験方法

一番草に就いては供試牧草 34-A を用い、二番草に就いては供試牧草 33-B を用いて何れの場合も積み高さは第12章に述べた如くで、各積み高さに於ける主風路内の風量並びに静圧をピトー管及びマノメーターにより無負荷時の測定法と同様にして測定した。A-風路系に就いては C-C 断面、B-風路系については A-A 断面に於いて測定した。写真 26 は風量測定の状態を示すものである。

#### 3. 実験結果並びに考察

実験の結果を第 29 図に示した。此の図を見れば解る如く、風量については何れの場合も、牧草の積み高さが増すにつれて低下する傾向にあるが、先ず殆んど変わら



第 29 図 牧草の積み高さ主風路内の送風量及び静圧との関係

ない。又、A-風路系と B-風路系を比較すると、A-風路系の無負荷時の風量が B-風路系のそれより急に高くなっているのは、前にも述べた如く、B-風路系の風路損失及び A-風路系の測定の不適正のためと思われる。かように風量が余り変らないということは、同図の静圧値の範囲を見れば解る如く、比較的静圧が低い所で送風機が作働しているため、これは無負荷時の送風機特性からもうかがわれることである。すなわち、今、A-風路系及び B-風路系の各々に就いて、牧草の積み高さが最大となった場合の風量並びに静圧をみると、A-風路系では積み高さ 430 cm (14.1 ft) に対して、静圧 12.5 mm (1/2") 水柱で 657 m³/min (23201.9 c.f.m.) となり、B-風路系では積み高さ 330 cm (10.8 ft) に対して、静圧 15.0 mm (3/4") 水柱で 652 m³/min (23025.4 c.f.m.) となっている。これから各々の有効床面積 1 ft² 当りの風量を求めると、前者では 10.85 c.f.m. となり、後者では 9.25 c.f.m. となる。この値は、アメリカの規準に比べれば少ないように思われるが、これはラテラル出口を一部制限しているためと思われる。又、実際の問題として、牛舎の構造上 15 ft 以上に牧草を積むことも少なく、7 ft 以上になると屋根の傾斜のために積込の容量はずっと少なくなるので、此の程度の風量で間に合っているものと思われる。しかし、将来は、もう少し風量を増大化するようにすれば良いと思う。

次に、静圧と積み高さとの関係を見ると、高さが 100~400 cm の範囲では、高さの増すにつれて静圧が可なり上昇しているように思われるが、アメリカで一般に云われている典型的な対数曲線<sup>15),31),46)</sup>とはならず、比較的上昇が緩慢である。しかし、無負荷時の静圧 3.0 mm 水柱程度に比べれば、何れの場合も非常に高い値を示している。これは、静圧が、牧草の異なる積み高さのみに影響されるのではなく、牧草の密度及び含水率にも左右されるので、積込が平均に行なわれなければ密度が一樣でなく、従って牧草の空気流に対する抵抗が異なるためである。これらの事から静圧分布の不均一さを推定することも出来る。すなわち、積み方が不均一なために、見かけの積み高さだけ増して、密度の小さい部分からの風の損失が大きいということが解る。

### 第2節 乾燥の進展に伴う主風路内の送風量並びに静圧の変化

#### 1. 実験目的

牧草の通風乾燥に於いて、通風によって乾燥が進めば、当然、牧草の含水率は低下し、見かけの密度も変ると考

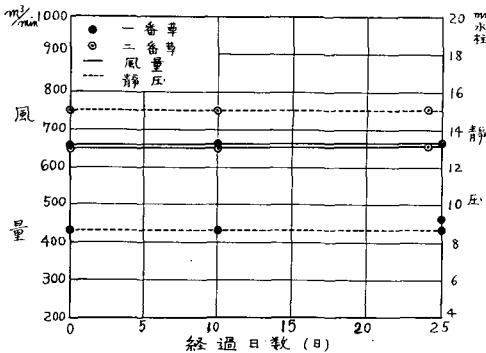
えられる。従って、牧草の空気流に対する抵抗が変化するので、主風路内の送風量並びに静圧も之に伴って変化することが予想される。HENDRIX も実験装置を使ってこの関係を研究しているが、筆者は実際の風路系常温通風乾燥機に於いて、これらの変化の状況を知る目的で本実験を行なった。

## 2. 実験方法

供試牧草 34-A に就いては昭和 34 年 6 月 18 日、A-乾燥機に積込み完了し、供試牧草 33-B に就いては昭和 33 年 9 月 15 日に積込み完了した時から主風路内の風量並びに静圧の測定を行なった。測安方法は無負荷時に於ける主風路の風量及び静圧の測定法に準じて行なった。

## 3. 実験結果並びに考察

実験の結果を第 30 図に示した。此の図を見れば解る如く、乾燥の進展に伴う風量及び静圧は殆ど変化していない。



第 30 図 乾燥経過中の風量並びに静圧の変化

これは乾燥の進展による水分含量や見掛の密度の変化の外に、牧草の積み高さが沈下 (settling) によって異なってくるためと、牧草が平均に積まれていない場合の静圧損失が部分的に起り、而も、その程度が少なくないことを暗示するものと考えられる。すなわち、乾燥の進展による牧草全体の含水率及び密度の変化によって起る風量や静圧の変化の割合に対して、密度の小さい部分で逃げる空気損失の割合が大きいと考えられる。これは、後に静圧分布の実験によって確かめるつもりである。

HENDRIX が、実験装置を用いてこれらの関係を求めた例では、乾燥の進展と共に風量が上ることを報告している。

これは、小面積にして而も静圧分布の比較的一様な所では、当然、推定出来る現象であるが、実際の大規模な乾燥機で、静圧分布を完全に一樣にするということは困難なことである。

## 第 3 節 堆積牧草表面に於ける簡易風速表示法に関する実験的考察

牧草の通風乾燥に於いては、乾燥すべき牧草中を適当な風速で風が流れていることが必要な条件である。主風路内の風量及び静圧を測定することによって、牧草中の風流を予想することは或る程度可能であるが、実際の牧草中の風速を測定することは困難である。そのため、堆積牧草の上で風速を測定する方法が種々研究されているが、これを簡単に測定することが出来れば、通風乾燥機の利用者にとって非常に便利である。しかし、牧草を通過して外部へ出てくる風の速度は、一般に極めて低く、又、周囲の大気の影響を多分に受けるので、現在の所、精密な測定は難かしいし、その上、測定が複雑になれば、農家に於ける実用性が乏しくなる。

筆者は実際現地に於いて、堆積牧草表面の風速を簡単に表示することの必要性を痛感し、種々の方法を試みた。これに就いて説明する。

### 1. 羽毛落下法

鶏の羽毛の如き軽量の物体を、堆積牧草表面で或る一定の高さから落下させると、牧草中を通る風の強さの大小によって、落下速度が異なることを利用し、落下時間を測定して逆に風速を推定する方法である。

筆者は、供試牧草 34-A に就いてこれを応用した。すなわち、6 月 15 日、16 日、21 日の 3 回に亘り、牧草の積み高さ夫々 250 cm、250 cm、430 cm の堆積牧草に対して、堆積牧草の表面上 130 cm の高さより 1 本の羽毛を落下させ、牧草表面に達するまでの時間をストップウォッチによって測定した。送風条件は使用状態とし、その時の主風路内の風量は何れの場合も、静圧 8.6 mm 水柱で 660 m<sup>3</sup>/min 程度であった。

測定の結果を第 12 表に示した。勿論、本法によって、直ちに風速何 m/sec と判定出来るわけではなく、又、窓その他から吹き込む外部の風の影響などがあって、本方法は大体の傾向を知るに過ぎない。しかし、実際に通風乾燥機を使用する人間が、その人なりに羽毛落下の状況を観察して、通風状態が解れば足るわけである。

### 2. その他の方法

羽毛の他に、筆者は、ゴム風船、線香の煙、コロイカル、各種の糸類等を用いて、堆積牧草表面に於ける簡易風速表示法を試みた。尚、これらは、何れも供試牧草 33-A の乾燥過程で実施したものである。

#### (1) ゴム風船

形、大きさの異なる玩具のゴム風船を堆積牧草の表面

第12表 羽毛落下法による風速の表示法 (数値は落下時間)

測定位置	測定月日		
	6月15日 (秒)	6月16日 (秒)	6月21日 (秒)
ラテラル No. 3 と No. 4 の間の中央	1.6	2.1	1.8
ラテラル No. 6 と No. 7 の間の中央	1.9	6.3	1.7
ラテラル No. 9 の上, ラテラル根元	1.9	—	—
ラテラル No. 9 の上, ラテラル中央	3.2	5.7	1.8
ラテラル No. 9 の上, ラテラル末端	1.5	—	—
ラテラル No. 12 の上, ラテラル中央	2.7	3.6	1.8
ラテラル No. 15 の上, ラテラル根元	2.0	2.1	1.5
ラテラル No. 15 の上, ラテラル中央	3.0	3.5	3.1
ラテラル No. 15 の上, ラテラル末端	1.9	2.3	1.5

上の或る高さに吊し、これの通風による運動を観察して、堆積牧草中の風速を推定する方法で、写真27は、本方法実施の状況を示すものである。

(2) 線香の煙……10本程度の線香に点火したものを、堆積牧草の上に持ち来ず時は、通風によってその煙の立ち昇る状況が変る。これによって堆積牧草中の風速を推定する方法で、写真28-①、②、③は本方法実施の状況を示す、すなわち、写真28-①は風を送らない場合、写真28-②はラテラルを5本閉めた場合、写真28-③はラテラルを10本閉めた時の煙の有様である。又、写真29-①、②、③は木綿糸に羽毛を取りつけたものを適当な高さから吊し、その通風による動きと線香の煙の動きを対比している所である。

(3) コロイカル……コロイカルは家畜の飼料に混じて食せしめる栄養剤の一種で、白色微粒子の粉体であるが、これを堆積牧草の上で撒布すると、通風の状態によって粉体の移動する状態が観察される。

(4) 糸類……ハブ糸、絹糸、毛糸、木綿糸、ビニール糸等を適当な長さに截って、これ等を堆積牧草上の適当な高さから吊り、通風によって動く様子を観察する方法で、筆者の行なった所では、ハブ糸が最も多くゆれ動き、ビニール糸が最も動きが少なかった。

以上、筆者の行なった種々の風速表示法は、何れも肉眼で観察することによって堆積牧草の表面から出てくる風の強さを知るわけで、数値的に表現することは困難である。それは外部の大気流の影響があるため、将来はこの点について改良すべき問題があると思う。

外国でも CLYDE<sup>7)</sup> が送風機の吸入口から煙やアンモニアガスを吹き込む方法を提示しているが、実験は行っていない。又、最近 F. H. BUELOW<sup>8)</sup> は、直径4

インチ、長さ40インチのプラスチック製パイプに目盛をつけ、この中で玩具の風船を落下させ、その落下速度をストップウォッチで測定することによって風速を求める方法を発表している。

かように、牧草の通風乾燥に於いて牧草中を通る風速の簡単な表示法は種々研究されているが、現在の所、決定的な方法はないようである。

### 第15章 乾燥過程中に於ける牧草中の静圧分布に関する実験

牧草の通風乾燥に於いては送風量が適当な静圧の下で、充分大なることは乾燥速度及び乾燥能率からみて必要欠くべからざる条件ではあるが、牧草の積み方が悪ければ部分的な風量の損失が多くなり、一樣に良い乾燥結果が得られない。すなわち、積み込まれた牧草の或る部分は風速が速く、他の部分は風速がおそい場合、風速の大なる部分では、速やかに牧草の乾燥が進行しているにも拘わらず、他の風速の小なる部分の牧草は何時までも乾燥が進まないという結果になり、この乾燥のおくれた部分を完全に乾燥するまで送風を続けなければならない。かくて使用動力の不経済になるのみならず、仕上り乾牧草の品質にむらが生じ遂には醗酵や腐敗を惹起することになる。この意味に於いて牧草中の風速の大小は牧草の通風乾燥上極めて重要な要素であるが、牧草中の風速分布を測定することは困難なので、比較的簡単に測定の出来る静圧分布を以て之に代えるわけである。その故は風の流れは静圧に直角方向に向っているので、静圧曲線によって風の方向が解り又、静圧分布に於ける等圧線間隔が狭ければ、その点では風速が速く、間隔が広ければ風速がおそいことを示すので、この間隔を比較するこ

とによって風速の大小が比較出来るからである。

さて、牧草の通風乾燥に於ける牧草中の静圧分布は、風の分配装置の設計の良否によって著して左右される。風路系牧草通風乾燥機に於いても静圧分布の問題は重要な設計の基礎になるものであるが、未だ完全な風路系の設計規準は発表されて居らず、多くは実際に静圧分布を求めて、その改善が徐々に行なわれている如くで、むしろ現場に於いて種々の経験から優れた改良が行なわれている現状である。トラピストに於ける風路系についても、柱の両側に面したラテラルの出口を塞いである如きはそのよい実例である。

かように、牧草中の静圧分布は、風路系の構造によって異なる他に、牧草の種類、性状、積み方、密度、含水率によって左右されると考えられる。従って、従来、多くの研究者が、牧草のみならず、種々の農産物に就いて、模型による実験をしているが、これらの影響要素は夫々関連性を有するものであるから、実際の大規模な乾燥機に於いて個々の要素の影響を調べることは困難である。特に、牧草の如く不均質な材料に就いては、尚更困難である。しかし、これら影響要素の総合的な状態によって静圧分布が変わるとすれば、逆に、静圧分布を知ることによって、或る程度、影響要素の状態を推定することが出来ると思われる。しかし、これまで実際使用中の牧草乾燥機について静圧分布を求めた例を見受けない。

本実験は、トラピストの風路系の静圧分布を調べてその良否を確認し、併せて各影響要素の実態を知る目的で行なうものである。

## 第1節 堆積牧草中の垂直静圧分布

### 1. A-風路系に於ける静圧の垂直分布

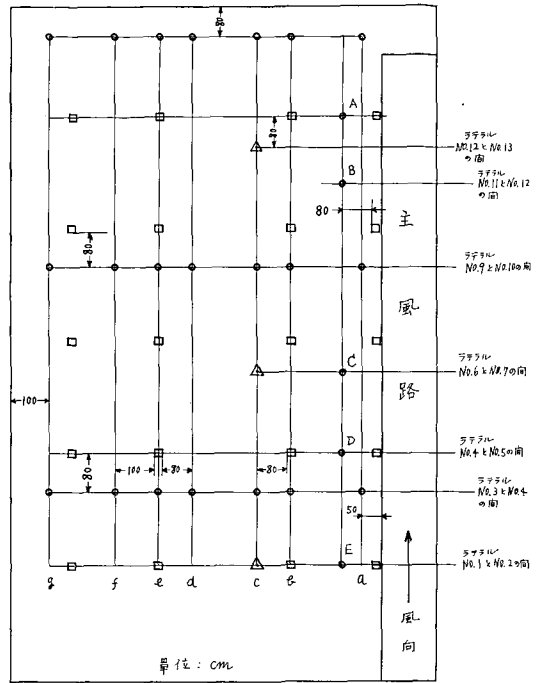
#### (1) 実験目的

既に、A-風路系の無負荷特性に就いては述べたが、A-風路系に実際に牧草を積んだ場合の静圧分布の如何なるものかを知る目的で本実験を行なった。

#### (2) 実験方法並びに実験項目

供試牧草 34-A の乾燥経過中を選び、牧草の積込み時に於ける静圧を測定した。測定は、6月14日、牧草の積み高さ平均 220 cm の時、及び、6月19日の牧草の積込完了時(積み高さ平均 430 cm) の2回に亘って行なった。

第31図は、静圧分布測定に於ける測定点の位置を示すもので、手製の静圧管を測定点の牧草中に挿入し、牧草の積み高さ 30 cm 毎に圧力計にて静圧を読んだ。静圧が非常に小さいので、圧力計には比重 0.835 のアルコール液を使用し、アルコール柱の高さを mm で表わして



第31図 堆積牧草中の静圧分布測定に於ける静圧管の配置 (⊕印は静圧管を示す)

静圧値とした。送風機、ラテラル等は、すべて使用状態とし、何れも全開の状態で測定を行なった。写真 30 は、静圧測定の状態を示すものである。尚、静圧管は 210 cm の長さしかないので、牧草の積み高さ 430 cm の場合に対しては、200 cm 以上の積み高さに於ける静圧分布を求めた。

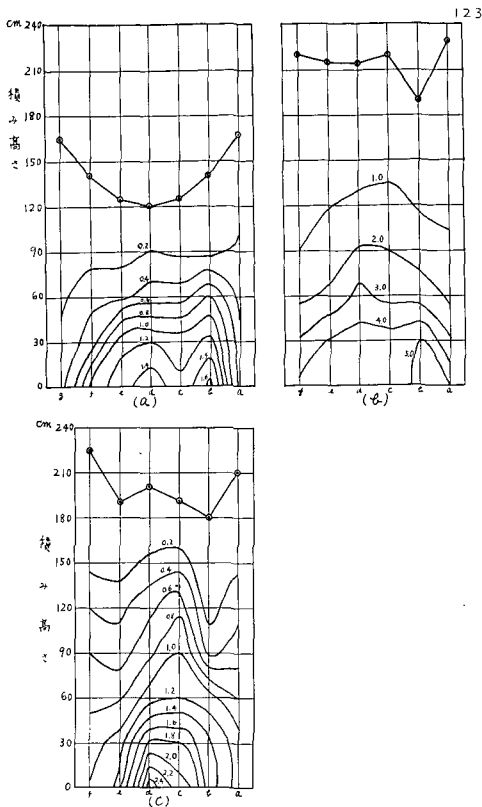
かようにして得た測定値から、各積み高さに於ける、ラテラルに並行方向、並びに直角方向の静圧分布を等圧線図で示すようにした。

実験項目は、次の3項目である。

- (i) 積み高さ 220 cm に於ける、ラテラルと並行方向の牧草中の静圧垂直分布
- (ii) 積み高さ 430 cm に於ける、ラテラルと並行方向の牧草中の静圧垂直分布
- (iii) 積み高さ 430 cm に於ける、ラテラルと直角方向の牧草中の静圧垂直分布

#### (3) 実験結果並びに考察

(i) 第32図(a), (b), (c) は、夫々、ラテラル No. 3 と No. 4 の間、No. 9 と No. 10 の間、及び No. 15 と後部側壁の間の測定断面に就いて描いた静圧の垂直分布を示したものである。尚、牧草の積み高さは平均 200 cm で



第32図 ラテラルと並行方向の静圧垂直分布 (静圧の単位は mm アルコール柱)

- (a) ラテラル No. 3 と No. 4 の間の 0.2 mm 間隔の等圧線図
  - (b) ラテラル No. 9 と No. 10 の間の 1.0 mm 間隔の等圧線図
  - (c) ラテラル No. 15 と後壁の間 0.2mm の間隔の等圧線図
- 尚、●印は草の表面の高さを示す。

あるが、詳しくは、牧草の表面の高さは場所によって違うので、第32図には各静圧測定断面に於ける牧草の実際の積み高さを併せて図示した。

第32図から次のことが解る。

- (i) 各測定断面の床面に於ける平均静圧値を比較すると、(a), (b), (c) 図に於いて、夫々、1.23, 4.75, 1.57 mm アルコール柱となり、(a) に於て静圧値は最も低く、(c), (b) の順に高くなっている。すなわち、ラテラル No. 9, No. 10 の附近の床面静圧が最も高く、風に対する抵抗が大きいことが解る。又、床面だけでなく、各高さに於ける静圧値を比較してもこのことは明らかである。

(ロ) 一般に、ラテラル方向に対して、ラテラルの中央部附近の静圧が高く、ラテラルの根元部及び先端部で静圧が低くなっている。従って、ラテラルの根元部及び先端部に於いて風がよく吹き抜け、中央部は風の通りが悪い。

(ハ) (a) 図及び (b) 図に於いては、ラテラルの根元が先端よりも等圧線が近接しているため、根元に於ける風速が大であることが推定され、(c) 図では、ラテラルの先端の方がむしろ風速が大きいことが推定される。

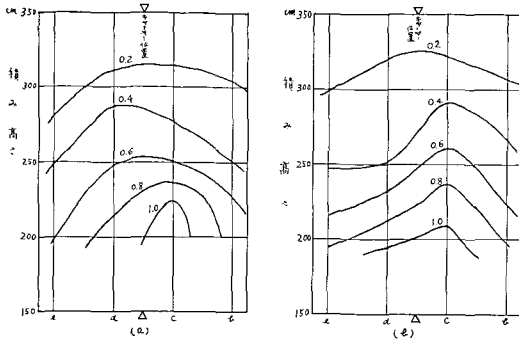
以上の結果に考察を加うるに、ラテラル No. 9 と No. 10 の間の静圧が高いのは、この断面の牧草の積み高さが、No. 3 と No. 4 の間の積み高さよりも高く、又、この部分は、恰度キャリヤーから投下される牧草の落下する位置に当るので、密度が高いためと思われる。ラテラル No. 15 と後壁面との間は、乾燥機中央に落された牧草を人間がフォークで撒布しながら積み込んで行く場所に当り、その密度はどうしても小さくなるために、静圧値が小さいと考えられる。又、ラテラル No. 3 と No. 4 の間は、キャリヤーからの牧草落下の状態については No. 9 と No. 10 との間と同じ条件であるが、他の二者に比べて牧草の積み高さ低く、又送風機からの距離が最も近いためによると思われる。

ラテラルの長さ方向に就いて、中央が高い静圧分布を示していることも、牧草のキャリヤーからの落下地点の影響が大なるものと考えられる。

次に (a) 図及び (b) 図に於いて、ラテラルの先端の方が根元より静圧が大きいのは、無負荷時のラテラル出口の風速分布を見れば解る如く、主風路に近い部分では、すべて風速が大になっているためと考えられ、又、(c) 図がその逆になつているのは、これら、ラテラルの無負荷時風速分布の影響よりも牧草の密度による影響の方が大で、ラテラル No. 15 の先端部の牧草の密度が小さいためによると思われる。

かように、牧草中の静圧分布は、風路系の構造と、牧草の積み方の両方の影響を受けるものであり、トラピストの風路系では、既に従来の経験から、ラテラル出口の中央部に於ける断面積総和を大きくしているが、その効果に加えて、牧草の積み方を更に研究する必要があると思う。

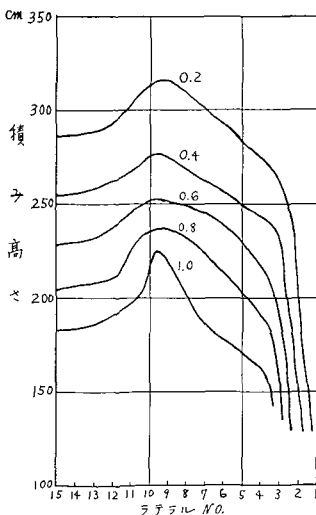
(ii) 測定項目 (ii) の静圧分布を第33図 (a) 及び (b) に示した。この図の (a) はラテラル No. 9 と No. 10 の間、同図 (b) はラテラル No. 3 と No. 4 の間の測定断面について、静圧管の届く範囲の静圧分布を示したものである。



第33図 ラテラルと並行方向の静圧垂直分布  
(単位は mm アルコール柱)

これらの静圧分布を見ると矢張り中央に近い部分が静圧値が大であるが、その最高の静圧値を示す部位は、キャリアの直下よりは主風路側に偏っている。これは、床面に設置された三角架の影響によるものと考えられるが、(a), (b) 何れの場合にも、牧草の表面近くではその影響が小さく、表面近くは中央部の静圧が高くなっている。

(iii) (i) 及び (ii) に於いて、ラテラルと並行方向の静圧分布に就いて実験結果を述べ、略々その傾向が解ったが、次に、ラテラルと直角方向の静圧分布に就いて得られた結果を、第34図に示した。この図によれば、ラテラル No. 9 と No. 10 の間の静圧が高くなっていることがよく解る。又、ラテラル No. 1 に近い所で静圧曲線の間隔が接近し、この部分は送風機に近いことと牧草の積み高さが低いために、風速の大なることが解る。送風機から



第34図 ラテラルと直角方向の静圧垂直分布  
(単位は mm アルコール柱)

出る風の損失は、かように風速の大なる所に多いので、ラテラル No. 1 の方向の損失が大きいが推定される。

## 2. B-風路系に於ける静圧の垂直分布

### (1) 実験目的

B-風路系も A-風路系と同じ構造を有するものであるが、B-風路系には、A-風路系に於ける如き三角架がなく、牧草中の静圧分布は自ら異なるものと考えられる。

これを確かめ、且つ、二番草を積み込んだ場合の垂直分布が如何なるものかを知る目的で本実験を行なった。

### (2) 実験方法

供試牧草 33-B の乾燥経過中を選び、牧草の積み込み時に於ける静圧を測定した。

すなわち、9月4日、及び、10月9日の2回に亘って、牧草の平均積み高さ夫々 100 cm 及び 330 cm に於けるラテラルと並行方向の垂直静圧分布を求め、更に、9月7日及び10月8日に、牧草の平均積み高さ、夫々、150 cm 及び 330 cm に於けるラテラルと直角方向の垂直静圧分布を求めた。ラテラルと並行方向の測定断面は、何れもラテラル No. 9 と No. 10 の間に選び、ラテラルと主風路との接合部より 1 m 毎に 11 点、高さ方向に夫々 20 cm 毎の静圧を測定した。ラテラルと直角方向の測定断面は何れもキャリアの直下で、ラテラル No. 1 から No. 19 へ向って 6~7 点とり、夫々について 20 cm 毎の各高さに於ける静圧を測定した。その他の測定条件は、A-風路系の静圧測定の場合と大体同じである。かようにして得られた測定値を、高さをパラメーターとして表わした。

ここに、静圧値はすべて mm 水柱に換算せるものである。

### (3) 実験結果

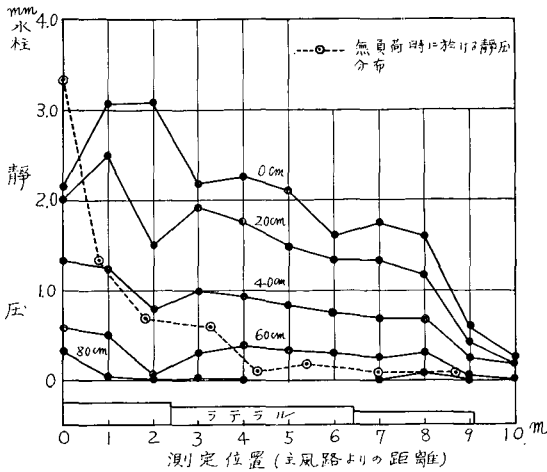
実験の結果を、第35図、第36図、第37図及び第38図等に示した。

第35図の点線は、ラテラル No. 10 の無負荷時の静圧分布を示し、実線は牧草を積み込んだ場合の静圧分布を示す。両者を比較してみると、何れも、ラテラル先端すなはち側壁に近い部位で静圧が低く、風の損失が大きいが解る。又、後者に於ける静圧分布曲線は可なり複雑のように思われる。

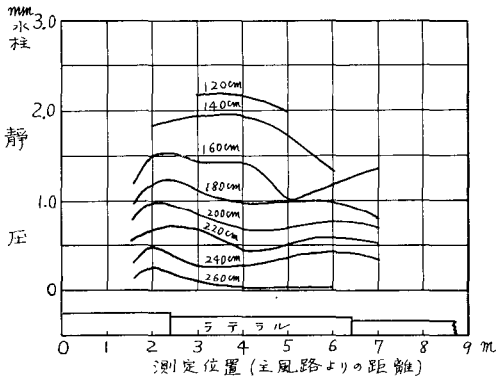
これに対し、第36図では、各高さに就いて略々平均した静圧分布を示していることが解る。

次に、第37図では、ラテラル No. 9 及び No. 10 の附近で静圧が著しく高くなって居り、A-風路系のラテラル No. 9 と No. 10 の附近で静圧が高いこととよく似ている。

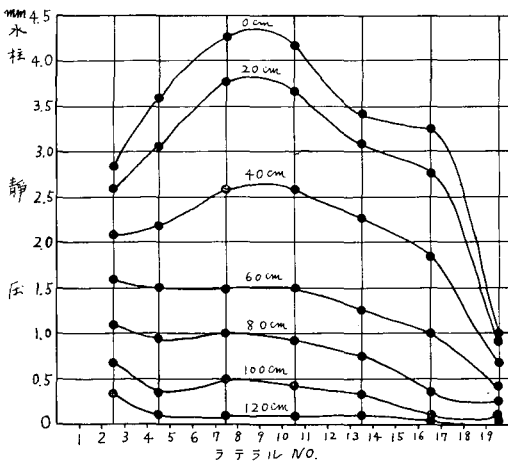
第38図でも、幾らかその傾向が見られるが、測定せ



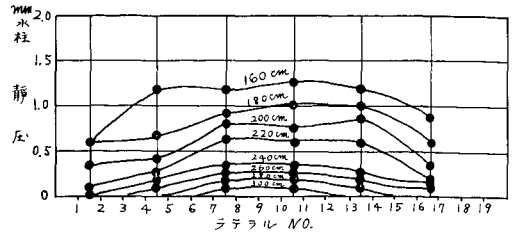
第35図 ラテラルと並行方向の垂直静圧分布 (牧草の積み高さ: 100 cm)



第36図 ラテラルと並行方向の垂直静圧分布 (牧草の積み高さ: 330 cm)



第37図 ラテラルと直角方向の静圧垂直分布 (草の表面積み高さ: 150 cm)



第38図 ラテラルと直角方向の静圧垂直分布 (草の表面積み高さ: 330 cm)

る高さが表面近いので比較的平均した分布を示している。又、第37図及び第38図を比較してみるに、ラテラル No. 19の外側附近で風の損失の多いことが類似している。

以上のことは、畢竟、キャリヤーから落される牧草の重量及びその衝撃でキャリヤーの下に当る部分で牧草が圧縮され、密度が高くなっているために静圧が高くなり、風の通りが悪いことを意味していると考えられる。

### 3. 柱附近の静圧分布

#### (1) 実験目的

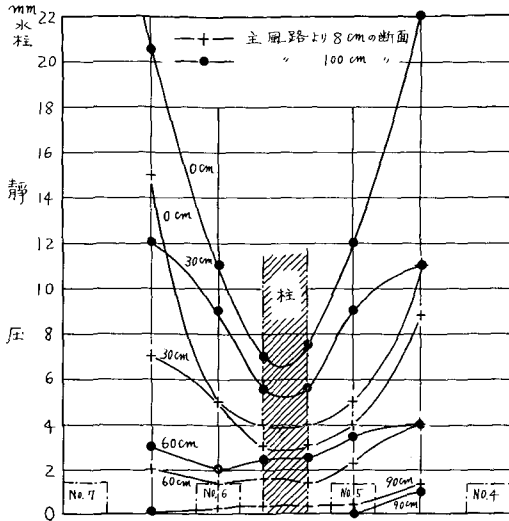
一般に、乾燥機中の柱とか、周囲の壁に沿って静圧の低いことは、経験的に云われていることであるが、実際にこれを扱った文献はない。そこで、筆者は、柱を挟んだ2本のラテラルの間の静圧垂直分布をとり、この問題を確める目的で本実験を行なった。

#### (2) 実験方法

昭和33年9月3日、供試牧草 33-Bの積み高さ 150 cmの場合について実験した。ラテラル No. 5と No. 6の間に、主風路から夫々8 cm及び100 cmの距離に測定断面をとり、この両断面について垂直分布を求めた。測定の方法は前と同じである。

#### (3) 実験結果

実験の結果を第39図に示した。この図を見れば柱の両側では明らかに静圧が低くなっていることが解る。しかしラテラルの中央部では特に静圧が高くなって居り、その分布も、他の三つの曲線と逆の形をとっている。このことは、柱の両側のラテラル出口の間隙を塞いでいるにも拘わらず、その効果が充分表わされていないことを意味するものであるが、唯、風路等の改造を図るだけでなく、牧草を積む時に柱の附近の牧草を特によく踏み固めその密度を大きくするか何らかの方法を講ずれば、更に、改善されるのではないと思われる。



第39図 柱附近の垂直静圧分布  
(牧草の積み高さ: 100 cm)

## 第2節 牧草中の水平静圧分布

### (1) 実験目的

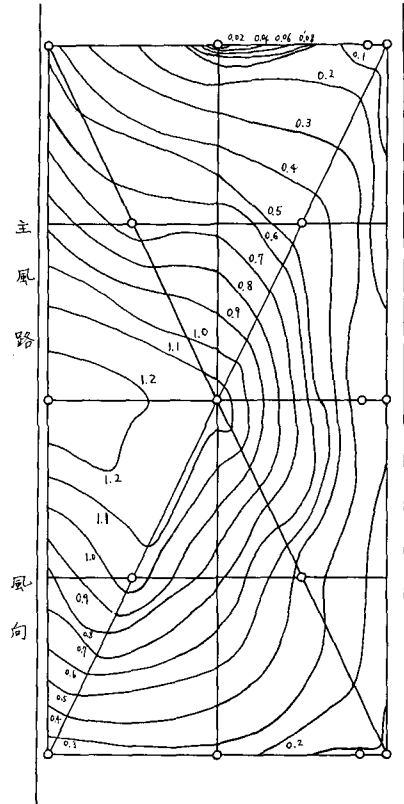
第1節に於いて牧草中の垂直静圧分布に関する実験を行ない、乾燥室の周囲の壁際、主風路に近い部分等では何れも静圧が低く、風速の大なることが略々確められたが、本実験では、牧草中の水平静圧分布を調べて更に、これを追究しようとするものである。又、静圧の水平分布を求めれば、乾燥室の平面的な静圧の様子がよく分ることになる。

### (2) 実験方法

昭和33年9月3日、B-風路系に供試牧草 33-B が150 cmの高さに積まれている時に、牧草中に13点の測定点を選び高さ30 cmに於ける静圧を測定し、これを等圧線図に表わした。静圧の測定方法は第1節に述べたと同じ方法である。

### (3) 実験結果

第40図は、測定点の位置及び静圧分布を描いたものである。この図から解る如く、比較的平均した等圧分布となっており、唯、ラテラル No. 9 及び No. 10 の近くで静圧が高く、これらのラテラルに沿って風速が大となっていることは、垂直分布と同じ傾向にあり、水平及び垂直分布を併せて考えると、一層明瞭に周囲壁際の風の損失がうかがわれる。



第40図 牧草中の水平静圧分布  
(単位は mm 水柱)

## 第16章 乾燥過程に於ける牧草中の温度に関する実験

堆積中の牧草の温度は、牧草の種類、含水率、堆積法、周囲の環境等によって変化し、含水率の多い場合には呼吸熱や醗酵熱のために異常高温になり、遂には発火することがあると云われている<sup>42), 43)</sup>。

通風乾燥を利用する牧草の乾燥過程に於ても、牧草が多量に堆積されている状態は、恰も、かかる温度上昇の起り得る可能性があり、トラピストに於いても、従来、屢々温度上昇の現象が見られ、ひいてはカビの発生に至る例があったと云われている。

かように、牧草の常温通風乾燥に於いては、放草中の温度変化が重要な要因になっているので、筆者は供試機による牧草の乾燥過程で、牧草中の温度変化が如何なるものかを確認しようとした。

元来、牧草の常温通風乾燥機は乾燥効果を主要目的として設計、製作され、使用されるわけであるが、上述の

如く、牧草中に於ける温度上昇の現象を考えれば、通風による冷却効果ということが問題になる。HALL<sup>23)</sup>も、この点について或程度述べているが、実際使用中の牧草通風乾燥に就いて牧草の温度変化を調べた研究は全くない。

筆者は、この観点に立って、温度の牧草内に於ける分布を調べ、これが送風による冷却効果と如何なる関係にあるか、又、従来、牧草表面の温度を以て牧草の温度としていたが、果してこの方法で良いものかどうか、これらの問題に関して実験を行なった。

一般に、牧草の常温通風乾燥に於いて、乾燥効果が良い場合には、顕著な温度上昇の現象は起らないので、本実験は、昭和34年6月、一番草の乾燥経過中に見られた温度上昇に就いて行なったものである。

第1節 牧草の積込始めより積込完了までの温度変化

1. 実験目的

供試牧草 34-A に就いて、積込過程に於ける牧草中の温度が如何に変化し、一般に云われている温度上昇が何時、起るかを知る目的で本実験を行なった。

2. 実験方法

供試牧草は、6月11日より6月18日まで5回に分けてA-乾燥機に積込まれ、その度に牧草の積み高さは段階的に増した。この積込過程中の牧草に就いて、各段階

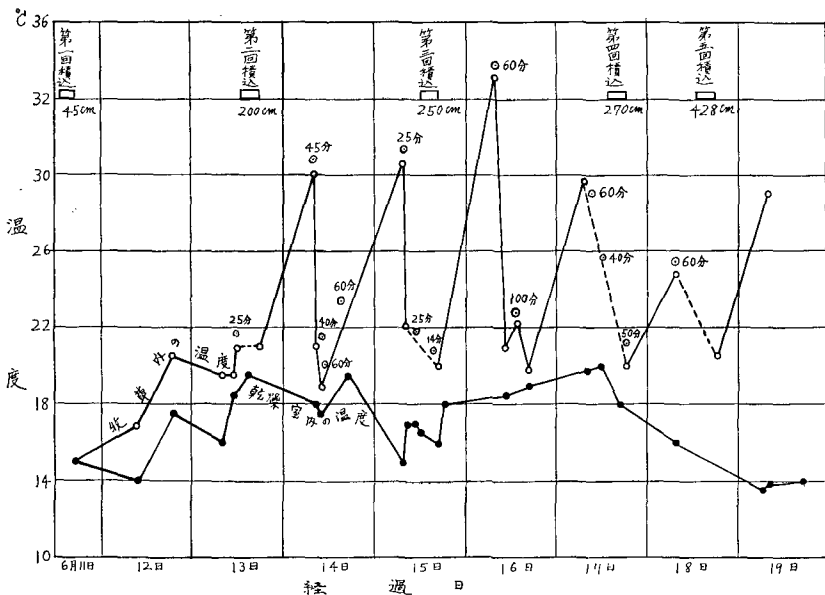
の牧草表面より30cm下部の温度を、真鍮製のケースで覆われた棒状寒暖計を以て測定し、その時間的変化を調べた。一方、積込過程中でも送風は行なわれるので、送風時間を測定したが、送風条件は何れも使用状態とした。尚、この期間中の周囲温度(牛舎内温度)も併わせて測定し、又、各積込時の牧草の高さを測定した。

3. 実験結果並びに考察

各測定値を時間に対してプロットしたものが第41図である。此の図の牧草内温度を表わす折線で、点線で示された部分は牧草の積込時間を表わすものである。又、○印は、送風時の記号で、そこに書かれている数字は送風時間を表わすものである。

さて、此の図から次のことが解る。

6月11日、第1回の積込時に於ける牧草中の温度は15°Cで、その時の室温に等しく、その後も第2回の積込が行なわれるまでは、極端な温度上昇は見られなかった。所が、6月13日に第2回の積込が行なわれて、翌14日には、平均30°Cに上昇し、牧草中に発熱現象が起ったと思われたが、45分間の送風にて21°Cに下り、更に40分の送風では19°Cになった。15日には再び温度上昇し、送風中には、牧草から湯気の立ち昇るのが見られ、牧草内の発熱現象は略々確実となった。これは、第2回目の積込量が比較的多かったのと、第3回目の積込までの時間的間隔が短かったため、充分なる乾燥並びに冷却効果が行なわれなかったためと思われる。



第41図 牧草の積込始めより積込完了までの温度変化

第3回目の積込牧草の量は比較的少なかったが、積込翌日の6月16日には、33~37°Cという高温になり、送風中に、牧草から醗酵特有の臭気を感じられた。これは、第3回目の積込牧草自身の温度上昇によるものとは思われず、第2回目の積込牧草から発生せられるものと考えられる。

その後、第4回目、第5回目の積込に対しては、30°C以上の高温は見られないが、これは送風の時間数が多く、又、外気気温が非常に低温になったためと思われる。

以上、6月11日より6月18日に至る8日間に、5回に亘って積込んだ牧草の温度変化と送風時間との関係を見ると、送風時間が少ないとか、周囲温度の低温による乾燥効果の低下とかのために、かような温度上昇が起ったとも思われるが、本実験では、次々に牧草の高さが変わる場合の表面の温度変化をみたのであるから、牧草の内部の温度は表面と異なった様相であるかも知れない。すなはち、牧草表面の温度が、必らずしも、牧草全体の温度の変化を示すとは限らないので、今後、この点について検討する必要があると思う。

## 第2節 牧草の積込完了後、乾燥仕上りまでの温度変化

### 1. 実験目的

供試牧草 34-A に就いて、積込完了後、6月19日より7月12日に至る間の牧草中の温度変化の状況を知り、これと大気温度及び乾燥室内の温度変化との関係を知る目的で本実験を行なった。

### 2. 実験方法

6月11日より6月18日まで、5回に分けて積込を実施し、その後は、毎日、午前と午後、1回づつ大体2時間位宛、送風を続けた。かようにして2週間送風を行なった後、3週間目より、毎日1回、1時間半~2時間宛送風した。これらの期間中、毎朝、午前8.00~9.00時の間に、測定点2~3点を選び、表面より30cmの深さに於ける牧草中の温度を測定し、同時に外気の温度、及び牛舎内の温度を測定して、これらを経過日に対してプロットした。

### 3. 実験結果並びに考察

実験の結果を第42図に示した。

第27図から解る如く、6月中の気温は比較的低温で、7月上旬後半になって漸く平均18°C程度に上昇して来た。又、天候は6月19日より7月9日に至る3週間の間、殆んど曇り又は雨で、晴天は6月28, 29, 30日、7月1日及び5日の僅かに5日間に過ぎない。従って常

温通風では乾燥が仲々思うように進捗せず、そのために草中の水分蒸発も少なく、絶えず醗酵及び呼吸による発熱の危険にさらされた。すなはち、第42図で積込完了後4日目までは、送風により加熱を抑えたが、5日目に至って30°Cを超え、6日目には、33.5°Cになった。そこで6月24日、牧草表面の草を反転移動して、空気の流通の悪い部分をフォークで疎に積み変え、降雨にも拘わらず盛んに送風を行なった。この時、送風中、草の表面からは多量の水蒸気の立ち昇るのが見られた。送風後7日目には、一時温度が下降したかに見えたが、8, 9日目には更に上昇している。しかし10日目には25°Cまで下り、漸く温度は下り始めた。6月28日より7月1日まで晴天が続き送風が順調に行なわれたが、7月3日から雨が続き、7月3日の日は1日中送風を停止した所、翌日、草表面下30cmの所で41.5°Cの高温を示した。その後は又、順調に冷却効果が進み、乾燥も進捗して7月11日、一応仕上り乾草を得て全乾燥過程を終わった。

通常、気象条件がよければ、送風期間は積込完了後10日~2週間にて終了すると言われているが、本年は稀に見る低温多湿のため、送風機の運転条件は非常に悪かったので3週間を要した。しかし、かような悪条件の下でも気象条件と睨み合わせて送風機の運転を行なえば、一時的な温度上昇だけで発熱を抑えることが出来る。唯、草の温度変化をよく監視して、一時的な温度降下に安心してはいけないと思う。又、50°C以下の温度上昇であれば、仕上り製品に致命的な結果を与えることはないと思われるが、少なくとも40°C以下に押えた方がよい。本調査では、夜間送風の運転は行なわなかったが、事情が許せば、夜間送風を行なうことは温度降下を助けるのに大いに効果があると思う。

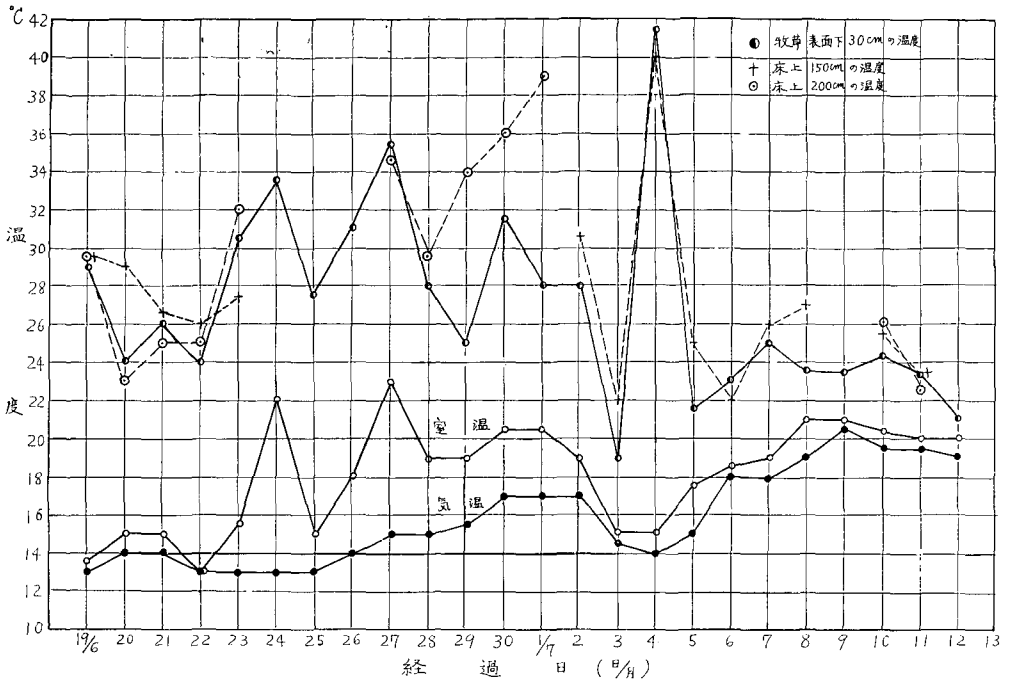
次に第42図に於て解る如く、牛舎内温度は草の温度と外気の間を変化し、概ね草中の温度に左右されて変動している。

尚、乾燥過程完了せる後にも、異常発熱が認められることも報ぜられているので、貯蔵期間の初期には、1カ月に1回位送風してみることがよい。

## 第3節 牧草中の温度垂直分布と通風による冷却効果

### 1. 実験目的

前節に於て述べた如く、牧草は5回に亘って次々に積込みを行なっているのので、此の間の牧草中の温度の垂直分布は非常に複雑であることは想像に難くない。すなはち水分含量の異なる牧草を、異なった量ずつ2~3日



第42図 牧草の積込完了後乾燥仕上りまでの温度変化

毎に積み上げて行くのであるから、その都度高さが違い、又、密度も非常に複雑である。筆者はこれを調べる目的で本実験を行なった。

2. 実験方法

ラテラル No. 5 及び No. 6 の間で主風路側、側壁から 550 cm の所と、ラテラル No. 12 の上で主風路側、側壁より 550 cm の所に夫々 2 つの測定点を選び、この測定点に於いて、6 月 13 日より 6 月 22 日まで毎日午前 8 時前後に牧草中の高さ方向の温度分布を調査した。測定器としては、長さ 2.1 m の真鍮パイプを草の中に上より挿入し、パイプ中に棒状寒暖計を糸で吊り下げたものを用い、30 cm 毎に各高さの温度を測定した。1 点の測定に約 3~4 分掛るので余り精度は信頼出来ないが、傾向ははっきりうかがうことが出来た。6 月 15 日以降、草の積み高さがパイプの長さを超える場合は、床までパイプが到達せず、パイプの届く範囲の温度分布をとった。これ以上長くすると屋根につかえて都合が悪い。

3. 実験結果並びに考察

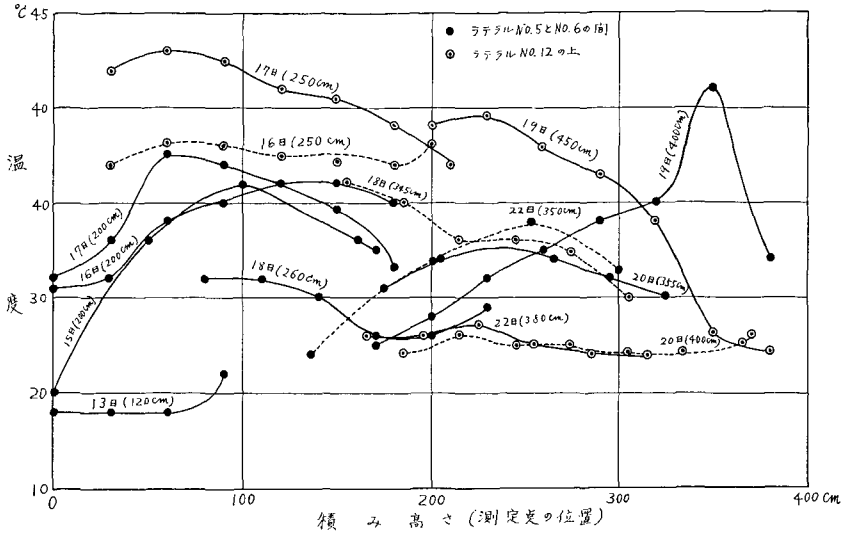
かようにして得た結果を第 43 図に示した。

第 43 図から次のことが解る。

- (イ) 第 1 回の積込み分の温度分布は深さに対して略々一定で殆んど温度上昇は見られない。
- (ロ) 第 2 回の積込みが終わった後は、積み高さ 200 cm

に対して 100 cm 附近が 31°C の温度を示し、内部発熱の起っていることが解る。

- (ハ) 第 2 回積込み後 2 日目、3 日目と温度は次第に上昇しているが、6 月 17 日第 3 回目を積み込む前の垂直分布を見ると 60 cm 附近が温度が最も高い。これは牧草の自然沈下によって 100 cm 附近の発熱部が移動したと思われる。
- (ニ) ラテラル No. 5 と No. 6 の間の温度は、一般にラテラル No. 12 の上で測定した温度よりも低い。これはラテラルとラテラルの間は風通しがよいことによるものと思われる。
- (ホ) 6 月 18 日に一度温度は下がったが、6 月 19 日は第 5 回目の積込みが終り、全部の積込が終了した時であり、再び温度は上昇し、その垂直分布は 2 つの測定点について著しく異なっている。すなわちラテラル No. 12 の上では 215 cm 附近に、ラテラル No. 5 と No. 6 の間では 350 cm 附近に温度の最高点が存在している。これは、その前日、6 月 18 日に送風を朝の中約 1 時間一度行っただけで、19 日の測定時まで 24 時間以上経過しているので局部的な発熱があったものと思われる。従って、20~22 日の間に温度は降下し、22 日には何れも 30°C 以下に下がっている。
- (ヘ) ラテラル No. 5 と No. 6 の間で測定した場合、床



第 43 図 温度垂直分布の積み高さによる変化 (送風前)  
(6月13日～6月22日, 午前8～9時現在)

からの高さが低い程温度は低く、積み高きが増すと温度の最高点は次第に床よりの高さが高い方へ移って居り、ラテラル No. 12 の上では、垂直方向の温度差は比較的少ない。

送風後の垂直分布については第5節にも述べる如く、気温及び室温と平衡して大体一定になる。しかし送風時間が短かすぎると平衡状態にならず、表面附近に温度の最高部が見られることになる。

第 4 節 堆積牧草中の水平温度分布

1. 実験目的

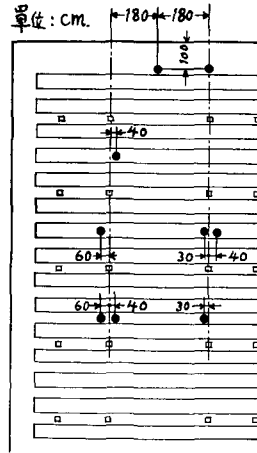
牧草中の温度の水平分布は、前述の2点の垂直分布からも分る如く、必ずしも均一でないことは推定に難くない。すなわち、床面は、ラテラルその他のために凹凸があり、草の積み方も、水平方向に就いて、平均に積んであるとは限らないので、各深さに関して水平分布は違うと思われる。これを確める目的で本実験を行なった。

2. 実験方法

筆者は、全積み込みが終った後、6月22日に第44図に示す如き位置に9点温度測定点を設け、床上200cmの所で温度を測定した。測定は午前8時30分、200cmのパイプを用いて行なった。

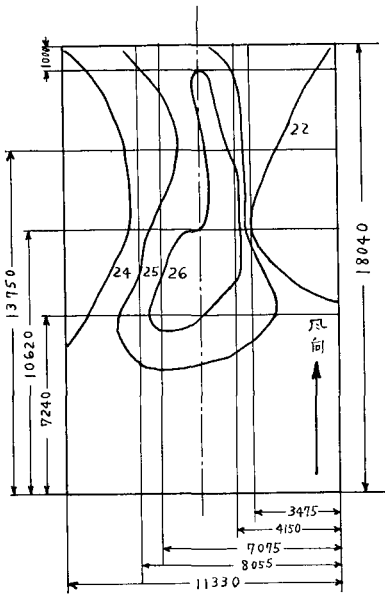
3. 実験結果並びに考察

その結果を等温線図に示したものが第45図である。第45図から、水平分布は主風洞の上及びこれと反対側の両側壁に近い所が温度が低く、中央部は一般に温度が



第 44 図 温度水平分布の測定点 (●印)

高いことが解る。これは、中央部に於てはキャリアから落下する牧草が、この部分に密に積まれ、両側は手で積むため疎に積まれることによるものである。同時に中央部では、静圧の項で述べた如く、静圧高く、風通しが悪いので通風による冷却効果が少ないためである。更に両壁側は、牛舎の構造上屋根が低く、壁際では200cm以上に積むことは出来ないで、ここで風は天井裏に沿って大部分逃げてしまう。従って、牧草を積み込む際に、この部分をよく踏み固めて空気の逃げを防げようはずればよいと思う。



第45図 堆積牧草中の水平温度分布 (等温線の単位は°C)

第5節 送風中に於ける堆積牧草中の温度変化

1. 実験目的

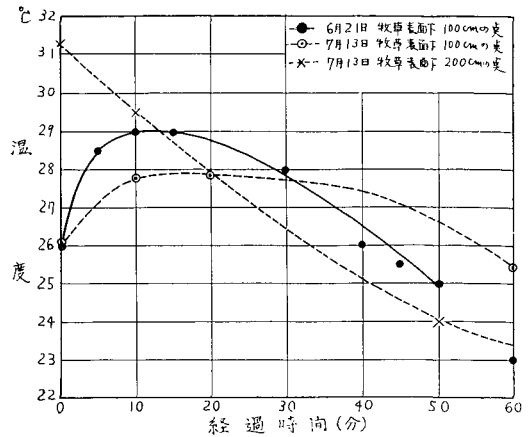
乾燥室内の牧草は、送風機を運転することによって一時冷却され、全体として概ね平均した温度になるが、送風を停止して時間が経過すると、再び発熱を始める。かくして、送風—冷却—熱平衡—送風停止—局部発熱—送風を繰り返すわけであるが、一旦或る温度の垂直分布が形成されて、送風した場合に牧草中の温度は如何に変化するか、勿論、これは牧草中の水分に大いに関係があり、又密度にも関係があると考えられる。要するに牧草の熱伝導度と送風速度によって熱の移動速度が決まるわけで、これらの関係を知る目的で本実験を行なった。

2. 実験方法

6月18日積込みを終った牧草が一応落ちついたと見做される頃に、予め送風前の温度垂直分布を測定し、或る高さ(ここでは表面下100cmの点をとった)の温度が送風の時間過程と共に変化する様子をプロットした。

3. 実験結果並びに考察

実験の結果を第46図に示す。同図の実線は、積込み完了後3日目(6月21日)に於ける温度変化を示し、点線は、略々仕上り時(7月13日)に於ける草中の温度変化を示すものである。第46図をみれば解る如く、温度は何れも送風後一時上昇し、最高に達した後漸次冷却されて室温に近づくことが解る。しかし、その温度変化の

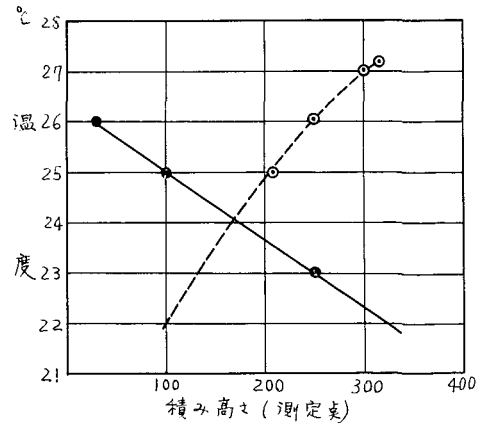


第46図 送風中に於ける温度の時間的变化

様子は同じではなく、前者に於いては送風開始と同時に温度が急に上り始め、十分位で最高に達し、その後次第に低下する。後者は送風開始後の温度上昇が緩慢であり、しかも最高温度に達するのにも時間を要し、下降も比較的ゆるやかである。所が、200cmの点の変化は非常に急である。これは後者では、乾燥が進んだために、又発熱量も減少したためと思われる。

一般に牧草中の温度は常に外気温並びに室温より高く、それが送風によって冷却され、次第に室温若しくは気温に近づき、更に送風を続ければ気温以下になることもある。しかし気温以下に温度を降下せしめるには、多量の空気を長時間送風する必要がある、筆者の実験に於いては完全に冷却されるためには3~4時間連続送風が必要であった。

今、一例をとって、6月23日早朝に、或程度熱平衡が



第47図 送風による牧草中の温度垂直分布の変化

行なわれている牧草に就いてみると、牧草の内部が熱く、表面近くが温度は低くなっている。すなはち、第47図の実線はこのことを示している。然るに送風開始後は、積み高さによっても違うが大体第47図の点線の如き分布を示す。すなはち、第47図では、送風前の分布と送風後の分布とが全く逆になり、表面に近い程温度は高くなり、内部は冷却されて低くなっていることが分る。

## 第17章 乾燥過程に於ける牧草の含水率に関する実験

牧草の常温通風乾燥に於いては、予措中に於ける乾燥経過が大きな影響力を持ち、積み込み時の牧草の含水率は爾後の乾燥効果を左右するものである。而して乾燥機内に於ける牧草の乾燥過程に於いて牧草の含水率は周囲温度、湿度、送風能力等と相俟って醗酵及び腐敗に密接な関係を有するものであり、含水率を或る限度以下に下げることが乾燥機の目的である以上、含水率の変化を追跡することは最も重要なことである。従って従来も牧草の含水率を取り扱った研究が多く見られるが、積み込まれた牧草は非常に大きな容積を有するものであり、表面積も大であるから、全体の含水率を正確に知ることは困難で、普通は積み込み後の表面から少し内部にある部分の牧草の含水率をもって表わしている場合が多い。

筆者は、一応、慣行法に従って牧草の乾燥の進展に伴う含水率の変化を調べたが、慣行法に関しては別に反省を試みる実験を行なった。

### 第1節 乾燥の進展に伴う含水率の変化

牧草の常温通風乾燥に於いては適当な予措を終った後数回に分けて適当な量ずつ乾燥機の中に積み込まれる。第1回の積み込みが終ると直ちに送風を開始して仕上げ乾燥の行程に入り、全部の積み込みが終ってから2~3週間で乾燥が完了するわけである。一般には乾燥の程度を判定するのに乾燥経過中の牧草をサンプリングして含水率を測定し、含水率が20%以下になった時をもって乾燥完了と見なす方法がとられている。

#### 1. 一番草の乾燥の進展に伴う含水率の変化

##### (1) 実験目的

昭和34年6月11日より6月18日に至る間に5回に亘って積み込まれた一番草が、送風による乾燥の進展と共に、どのような変化をするかを知る目的で本実験を行なった。

##### (2) 実験方法

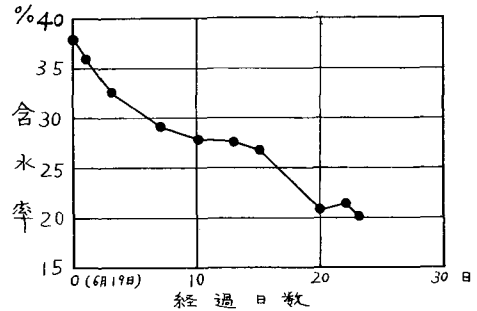
一番草の5回に亘る積み込み時の含水率は、既に第9

表及び第11表に掲げたが、これらの平均含水率は37.6%である。本実験では6月18日積み込み完了より7月13日乾燥仕上りまでの含水率を Kett 赤外線含水率計によって測定し、その時間的変化を図示した。

##### (3) 実験結果

実験の結果を第48図に示した。

この図を見れば解る如く、含水率低下の曲線は始めの2~3日の間は順調であるが、中間の1週間程は、殆んど



第48図 一番草の乾燥進展に伴う含水率の変化

脱水の効果が上らず、18日目位に漸く顕著な脱水効果が見られるに至った。これは、第13章に於いて述べた如く6月19日より6月29日まで殆んど雨若しくはガスに禍され、思うように乾燥が進まなかったためで、かかる状態の場合が、常温通風乾燥として非常に難しい技術がいるわけである。

#### 2. 二番草の含水率の変化

##### (1) 実験目的

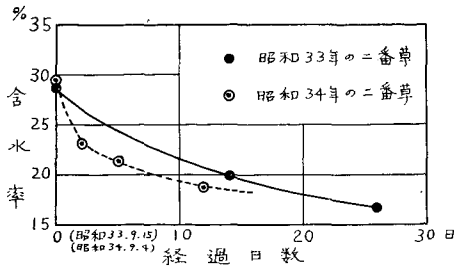
二番草は、一番草に較べて茎部よりも葉部が多いので、一般に予措中の乾燥は良好であるが、乾燥機に積み込む場合には往々にして固く堆積し、そのために醗酵や発熱の原因になることがあるので、これを確める目的で、昭和33年及び昭和34年の二回に亘って実験を行なった。

##### (2) 実験方法

昭和33年に於いては9月1日より9月15日まで8回に亘って二番草の積み込みが行なわれ、昭和34年に於いては8月25日より9月4日まで7回に亘って二番草の積み込みが行なわれた。これらの二番草の積み込み完了時の含水率を測定し、その後、乾燥の進展に伴って、数日毎に牧草の含水率を測定し、その時間的変化を図示した。サンプリングの方法は、一番草の場合と同様、慣行法に従い、含水率の測定には、Kett 赤外線含水率計を使用した。

##### (3) 実験結果並びに考察

第49図に、二年間の二番草に於ける実験の結果を示



第49図 二番草の乾燥進展に伴う含水率の変化

した。この図によれば、二番草の積み込み完了時に於ける含水率は何れも30%以下で、予措によってかなりの程度まで乾燥が進んでいることが分る。乾燥機積み込み後の乾燥経過も順調で、昭和33年では2週間、昭和34年では9日にして含水率は20%以下に低下している。その後は、乾燥室内の自然対流によって更に乾燥が進み、普通は16%前後に仕上る。

唯、二番草であっても、積み込みの途中含水率の特に多い部分とか、レーキ掛跡の清潔さの落ちる牧草があると、これらが醗酵や発熱の原因になるので注意しなければならない。例えば、昭和33年に於いて第6回の積み込みの際に9月11日にレーキ掛跡の牧草(含水率28.8%)が入ったために、この部分で幾らか醗酵が見られ、昭和34年に於いて第3回、第4回の積み込みは、刈取り翌日に積み込まれているので、この部分の乾燥が悪かった。

かように乾燥過程の指標となるものは、乾燥すべき牧草の含水率であり、絶えずこれを高級な含水率計を以て測定して行けば、乾燥過程を知ることが出来る。しかし、乾燥中の牧草は、平面的にも立体的にも、巨大な容積を有するので、一部分のサンプリングによって全体の乾燥経過を判断することは危険であり、サンプルの数を増さねばならない。サンプルの数を増すことは含水率測定に多くの時間を要し、そのために却って精度が下る場合も考えられる。それよりも、高級な含水率計を各農家で備えることに既に問題があるので、乾燥過程を簡単にしかも実用的に判断する方法が要望される所以である。

SEGLER<sup>45)</sup>が親指法なる水分測定の方法を提唱しているのも全くこの理由に外ならず、筆者も、この点に就いて大いに関心を持っている次第である。一つの方法としてSEGLERの親指法に類似しているが、トラピストの今村修士の方法を提案したい。

これは、オーチャドに関して乾燥の仕上りを見る方法で、オーチャドの茎を手で縦に引き裂いた場合に茎方向にすなおに裂ける場合は未だ乾燥が不充分であり、裂ける途中で不規則に横に外れて裂けるようになれば乾燥完

了と見てよいというのである。この方法は、乾燥の仕上りを見る大ざっぱな方法ではあるが一つの目安として最も簡単且つ比較的判然とした判定法であると考えられる。

## 第2節 含水率の垂直分布

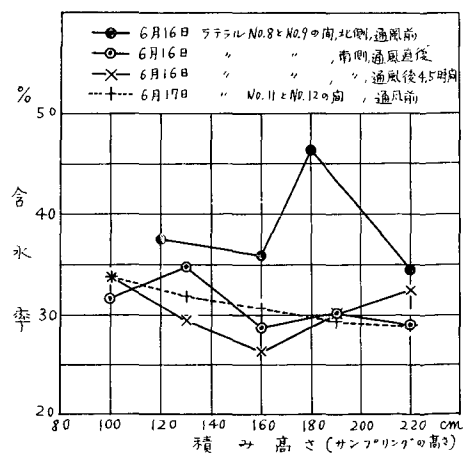
前述の如く、牧草通風乾燥に於ける牧草のサンプリングの方法は、積み込まれた表面近くの牧草の含水率をもって表わされるが、古くは簡単なプローブ (probe) 式のサンプリング<sup>63)</sup>機械で、内部の牧草を取り出す方法も発表されている。しかし、これとてもプローブの長さには限度があり、又事実、非常に圧縮された牧草の中へパイプ状のものを挿入することの困難さは、筆者も静圧や温度の測定にパイプを使用して十分に体験した所である。牧草内の湿度を電気的に測定する方法<sup>26)</sup>もあるが、此の場合もプローブの挿入に困難が伴うものと考えられる。

### (1) 実験目的

筆者は、従来の表面近くの牧草の含水率を以て牧草含水率の目安としてよいかどうかを確認するために、含水率の垂直分布を調べた。

### (2) 実験方法

本実験は昭和34年の一番草及び昭和33年の二番草に就いて行なったもので、積み込まれた牧草の適当な場所(大体牧草の中央部)を、表面から床に向かって牧草中に穴を掘り、種々の高さに於ける牧草の含水率を測定した。穴を掘るのには写真31に示すような牧草切断用刃を用い、又、牧草を外へ放出するのには、小さなキャリヤも利用した。かくして一番草及び二番草の積み込み途中及び積み込みが終了後の夫々の牧草に就いて含水率の垂直分布をとった。



第50図 一番草の含水率垂直分布

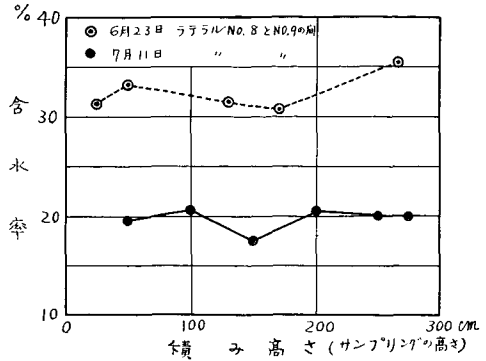
(3) 実験結果並びに考察

第50図は、一番草の第3回目の積込みが終って、積み高さ平均250cmの時の牧草の含水率垂直分布を示すもので、6月16日及び6月17日に測定したものである。又、第51図は、二番草の第2回の積込みが終って積み高さ平均150cmの時の牧草の含水率垂直分布を示すもので、測定は9月7日に行なった。

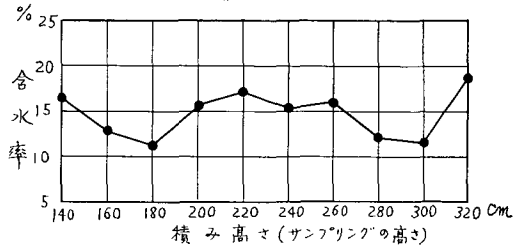
第50図及び第51図から含水率の垂直分布は必ずしも様にならず不規則な分布を示し、又、場所によってその分布の状態も異なっていることが解る。

次に第52図は、一番草の最後の積込みが完了として2日目の6月19日及び3日目の6月20日に夫々異なった場所で垂直分布を描いたものである。又、第53図は一番草について、6月23日にラテラル No. 8 と No. 9 にまたがり主風路から約700cm離れた位置の垂直分布をとり、更に乾燥仕上り近い7月11日に、再び同じ位置の含水率の垂直分布をとったものである。

これを見ると一番草にあっては、その牧草の高さ方向の含水率が乾燥が進むに従って次第に平均化されて行くことが解る。第54図は、二番草が完全に仕上り乾燥を終って後、10月11日に牧草室の略々中央に於いて垂直分布を求めたものである。



第53図 一番草の含水率垂直分布



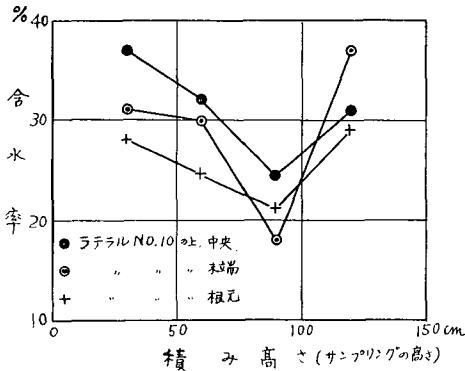
第54図 二番草の含水率垂直分布

この図で解る如く、二番草にあっては乾燥が進んでも比較的垂直分布が不規則のように思われる。

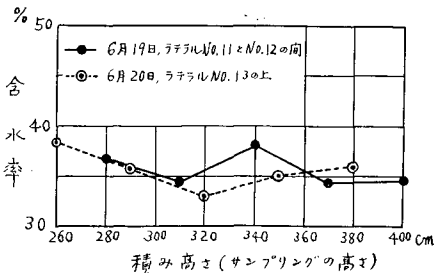
以上の実験結果によれば、牧草の含水率は、牧草の高さ方向に就いて決して、様なものでなく、又、表面近くが必ずしも含水率が最も高く、ここが最後に乾燥するという事も云われない。しかし、乾燥が進んで行けば、次第に含水率は平均化する傾向が見られるので、サンプルとして表面近くを採っても、そう極端な誤りはないと考える。

結 論

風路系牧草常温通風乾燥機は、乾牧草生産の有効な手段として重要であるにも拘わらず、我が国に於いては、これに関して殆んど研究されていない。又、外国に於いても、その研究は長期に亘る乾燥過程の一部分に関する模型実験、若しくは地方的な乾燥過程の概略が報告されているに過ぎない。筆者は、この現状に鑑み、我が国に於ける牧草通風乾燥機に対する関心を高め、北海道、ひいては我が国全体に於ける牧草通風乾燥方式の体系基準の確立に資する目的で、現在実用に供せられている唯一の大規模な風路系牧草常温通風乾燥機の性能に関する実験並びに調査を実施した。



第51図 二番草の含水率垂直分布



第52図 一番草の含水率垂直分布

すなはち、本研究はトラピストの風路系牧草通風乾燥機の基礎的性能及び同機の乾燥性能に関する二つの実験調査よりなり、本研究の結果から、トラピストの風路系牧草通風乾燥機に対して科学的実験の裏付がなされると共に、一般の牧草通風乾燥機に対する使用、取り扱い、操作上の準拠が得られたものと考えられる。

以下、本研究結果の摘要、並びに風路系牧草常温通風乾燥機の使用、取り扱い、操作に対する総括的所見を述べて結論とする。

### I. トラピストの風路系常温通風乾燥機に関する基礎的性能

本機は、基本的にはアメリカの模倣と考えられるが、既存の牛舎二階を利用して設備されたものである故、構造的に送風機、主風路、ラテラル等の配置が異なって居り、又、建物の柱の状態及びキャリヤー使用の関係から、ラテラル出口の一部閉塞及び三角架の附設等に独特の工夫がなされている。

かかる構造の下に、A、B二つの風路系の無負荷時に於ける主風路及びラテラル出口の風速、風量、静圧の大きさ並びにその分布に就いて実験を行なった結果、次の如く結論される。

(1) 主風路内風量は、A-風路系に於いて  $3.93 \text{ m}^3/\text{min}/\text{m}^2$ 、B-風路系に於いては  $2.88 \text{ m}^3/\text{min}/\text{m}^2$  となり、外国の現在の標準に比べれば、多少、少ないようであるが、大体間に合う風量と思われる。

(2) 主風路の断面積、及びラテラルの断面積等については何れも外国の標準設計に比べて充分な風量が出るように作られていることを確認した。

(3) ラテラルの風速並びに静圧分布には、ラテラル出口の一部閉塞せる影響が現われて居り、一般の場合と違っていた。特に牧草種子を使った風速分布の表示法は、これをよく表わして居り、実用的にラテラルから出る風の方向、強さ等を知るのに便利な方法と考える。

(4) 送風機は、牧草を積まない無負荷時に於いても過負荷になるようなことはなく、駆動モーターも焼損の恐れはなかった。唯、伝導部に就いては将来、尚、改良すべき点があると思う。

## II. 風路系常温通風乾燥機による牧草の乾燥性能

### 1. 牧草の予措

風路系常温通風乾燥機を利用して牧草を乾燥する場合に、牧草の予措は、乾燥機の乾燥性能に大きく影響を与え、又、乾燥機の使用、取り扱い上、極めて重要な問題

である。本研究は、トラピストに於ける牧草の予措に就いて調査を行なったが、一番草並びに二番草共、現行の予措法が概ね合理的であり、一般の予措法の規準として良いものと考えられる。

すなはち、その要領は、

(1) 刈取りの適期は、牧草の栄養師の最も高い時を選ぶのが妥当で、二番草の収量を考慮に入れて、これよりむしろ早くてもよいと思われる。

(2) 刈り取りの分量は、乾燥機へ一度に積めるだけの量を刈るべきである。

(3) 刈り取りは早朝に行ない、太陽熱を出来るだけ利用すると共に、牧草の反転を行なって圃場に於ける乾燥効果を十分に上げるようにする。

(4) 夜間の霧や雨による損失を防ぐために、夕方の山積は是非必要である。

(5) 予措は、積込み時の牧草の含水率を40%程度に低下せしめるために行なうのであるが、トラピストに於いては晴天の日なら一番草で3~4日、二番草で2~3日の予措期間が必要であった。

### 2. 乾燥機中に於ける牧草の乾燥経過

予措終了後の牧草は、5~7回に分けて乾燥機中に積込まれ、通風によって乾燥されるわけであるが、本研究に於いては、一番草並びに二番草の乾燥過程を調査した。その結果、二番草に就いては良い乾燥成績が得られ、一番草に就いても大部分は良質の乾牧草が得られたが、一部酸酵した部分もあった。しかし、何れにしても、乳牛の飼料として自然乾燥では得られない良品質を有し、収量も大であり、自家需要に対して余剰の分は他へ譲渡、換金されている現状である。

尚、牧草の積込み完了後の送風量は、A-風路系に於いて、有効床面積当り、 $10.85 \text{ c.f.m./ft}^2$  ( $3.31 \text{ m}^3/\text{min}/\text{m}^2$ )、及び、B-風路系に於いて同じく  $9.25 \text{ c.f.m./ft}^2$  ( $2.81 \text{ m}^3/\text{min}/\text{m}^2$ ) で、概ね満足すべき風量であった。

### 3. 乾燥経過中の静圧分布

風路系牧草常温通風乾燥機の乾燥性能は、牧草中に充分な風が送り込まれることが必要であるが、その他に、乾燥むらを生じないようにすることも重要な問題である。乾燥むらを生じないためには、牧草中を風が平均に通ることが必要であり、これを調べるために本研究では牧草中の静圧分布に関する実験を行ない、次のような結論を得た。

(1) A-風路系に一番草、B-風路系に二番草を積んだ場合の、各牧草中の垂直並びに水平静圧分布を調べてみると、何れの場合も、キャリヤーのレールに沿って牧草

の中央部の静圧が高く、壁際の風の損失が非常に大きいことが解った。

(2) A-風路系には特殊な三角架があり、B-風路系に比して静圧分布が多少改善されているが、周囲の側壁或は柱を伝わって失われる風の損失が大きいので、充分な効果が上っていない。

(3) 柱附近の静圧分布は、柱の直ぐ近くで静圧値が小さく、ここからの風の損失が大である。

以上のことは、すべて牧草積込みの際に、乾燥室の中央にある牧草はキャリヤーから落下する牧草の衝撃及びその重量によって常に固くなるためであると思われる。又、柱が多い関係上、側壁又は柱の近くまで牧草を運んで、十分に踏み込むことが困難なため、この風の損失が大きくなるためと考えられる。従って、風路系牧草乾燥機に於いては、乾燥機的设计或は構造が基礎的問題であることは言うまでもないが、牧草の積込みに一段の工夫が必要であろうと思う。

#### 4. 乾燥経過中の牧草の温度

外国では、牧草の通風乾燥中に、屢々牧草の異常発熱現象の起ることが報ぜられて居り、トラピストに於いても醗酵によるカビの現象として経験的に発熱現象が認められている。しかしこれに関する詳しい研究がないので、筆者は、昭和34年トラピストに於ける一番草について乾燥経過中の牧草の温度について実験研究を行なった。その結果、次のような結論を得た。

(1) 第1回の積込みより、乾燥終了までの湿度変化を調査したが、筆者の調査時には稀にみる低温多湿のため、積み始めより5日目に於いて、草中の温度は30°Cを超え、その後、醗酵の現象が明らかになって、送風は主として冷却の効果をj得るために運転された感がある。

(2) 牧草中の温度上昇は、牧草の積込み時に於ける初期含水率、送風量、送風時間及び大気温度及び湿度によって影響を受けるが、初期水分は予措の良否に懸り、やはり大気気象条件に左右されるので、醗酵を防ぐためには、送風量並びに送風時間を適正に行なうことが使用者にとって重要な技術的問題となる。

(3) 牧草中の温度の垂直分布を求めた結果、牧草中の温度は、必ずしも牧草の表面に最高温度を示す点があるのではなく、不規則な分布をなしている。

(4) 充分送風を行なった後では、牧草中の温度が平均し、略々大気温度に等しくなり、場合によっては大気温度よりも低温を示すことがある。しかし、送風が充分に行なわれない時は、牧草中に熱がこもり、温度の最高点が送風と共に上方に移動する。

(5) 牧草中の温気の水平分布を調べた結果、牧草の中央部、すなはちキャリヤーから牧草が落下する位置の牧草の温度は、他の部分に比して一般に温度が高い。これは、ここの牧草中の静圧が高く、風通しが悪いので醗酵を起し易いためと思われる。

(6) 一般に牧草中の温度の測定は、牧草表面に近い所で行なわれている。しかしこれは、送風が充分行なわれて内部の熱が表面に移動して来た場合には、この温度によって醗酵の有無を判断しても差し支えないが、中途半端な送風後に牧草表面の温度を測定し、これをもって牧草中の温度上昇の規準とすることは危険であると考えられる。

#### 5. 乾燥過程中に於ける牧草の含水率

風路系牧草常温通風乾燥機の乾燥性能を判断するのに、乾燥経過中の牧草の含水率を知ることは、一般の乾燥機に於けると同様、究極の目的である。本研究に於いて、筆者は、一番草並びに二番草の、乾燥過程中に於ける含水率の変化を調べた。その結果、次の結論を得た。

(1) 一般に、一番草は水分が多く、特に水分の多い茎部が多量にあるので、二番草よりも乾燥がおそい。すなはち、二番草では、積込み完了後2週間位で乾燥するが、一番草では、4週間を要した。

(2) 乾燥過程中の牧草の含水率は、予措の影響を受け、積込み時に於ける含水率の特に大なる牧草とか、レーキ掛け跡の牧草のような不清潔な牧草が、堆積牧草の中にあると、これが屢々醗酵の原因となっているので、注意を要する。

(3) 従来、牧草の含水率は、堆積牧草の表面近くのサンプルに就いて行なわれているが、この方法の妥当性を確認するために、堆積牧草の含水率の垂直分布を調べた結果、積込み当初は、積込み時の含水率の差異によって不規則な分布をしているが、乾燥が進むつれて含水率は、平均した垂直分布を示すようになり、慣行法によるサンプリングに就いても極端な誤りがないことを知った。

以上、本研究に於いては、風路系牧草常温通風乾燥機の性能に関して述べたが、実際に一般有畜農家が此の種の乾燥機を使用する場合には、乾燥機の性能そのもの他に、運転、取り扱い、操作法が適正でなければならない。アメリカの研究者もこの点を指摘し、牧草乾燥機の普及発達を図る要諦は、乾燥機の使用法を如何に指導するかにあると云っている。そこで筆者は、本研究の結果より風路系牧草常温通風乾燥機の実用的使用法に関する所見を述べる。

(1) すなはち、本研究に於いて、筆者は、乾燥経過中

の牧草の静圧分布並びに温度分布を調べた結果、静圧の高い所は通風が悪く温度も高くなっていることを知り、その根本が牧草の積込み堆積法にあることを知った。従って積込みに当ってはこの点に留意して、単に牧草表面の高さを一様にするのではなくて、壁際や柱際などの、風の損失の多い部分をよく踏み込み、又キャリヤーを用いる場合は、その下の牧草が固まらないようにすることが大切である。

(2) 送風機の運転時間及び運転計画は、周囲気象条件によって左右されるが、乾燥が或る程度進むまでは、晴天の日中を選んで連続運転すべきである。しかし、曇天もしくは夜間でも、堆積牧草中に発熱の兆が見える時は送風した方がよいと思う。この見地から、堆積牧草中の温度は或る程度、乾燥の進展を知る目安と考えることが出来る。すなわち、堆積牧草中に送風すれば、牧草中の温度は、遂には大気温度又はそれ以下の温度で平衡状態に達するが、乾燥が進まず牧草の含水率が高い時は、この温度の平衡に長時間を要し、乾燥が進んで居れば短

時間で温度の平衡が得られる。しかし、堆積牧草中に発熱が起っている場合には、通風は冷却効果をもち、堆積牧草中の最も温度の高い部分は送風と共に次第に牧草の表面に移動するので、牧草の表面を、この最高温度が通過した時に送風を停止すればよい。かくして送風中に堆積牧草中の温度上昇が見られなくなれば、概ね乾燥は終了したとみて差し支えない。

(3) 乾燥終了の判断は、牧草の含水率を測定すればよいわけであるが、一般の農家に高級な含水率計を期待することは難しく、SEGLERの親指法が提唱された所以であり、筆者が既に述べたトラビストの今村氏の方法も、実用的な乾燥終了の判定法である。しかし、前述の堆積牧草中の温度を測定して乾燥の経過並びに終了時期を判定する方法も簡単で実用的な方法と考えられる。すなわち、必要なものは棒状寒暖計だけであり、要すれば適当な金属製パイプを併用して堆積牧草中の温度を測定し、周囲の気温と対比して乾燥の経過を知ることが出来る。



写真1 牛舎の全景



写真2-Ⓐ 風路系の一部

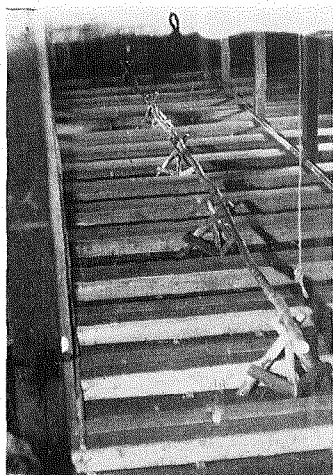


写真2-Ⓑ 風路系の一部

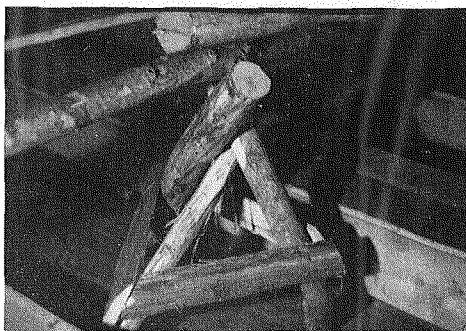


写真3 三角架

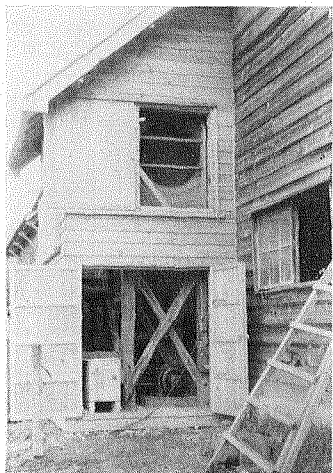


写真4 送風機並びに駆動電動機室

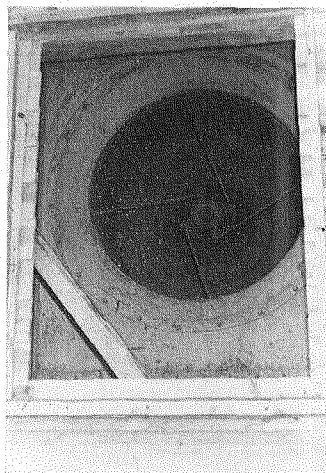


写真5 送風機の吸入口

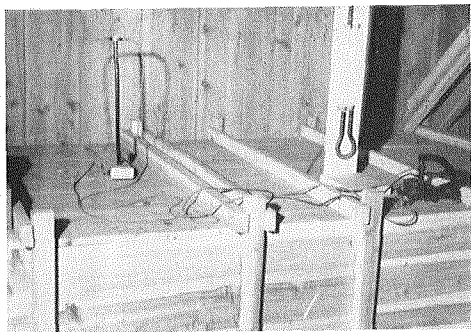


写真6-㉔ ビトー管及び圧力計による主風路内の風速並びに静圧の測定装置

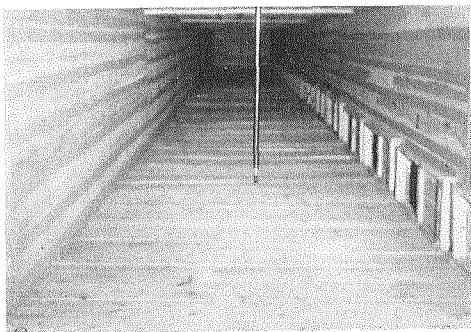


写真6-㉕ 同じく、ビトー管の挿入状況

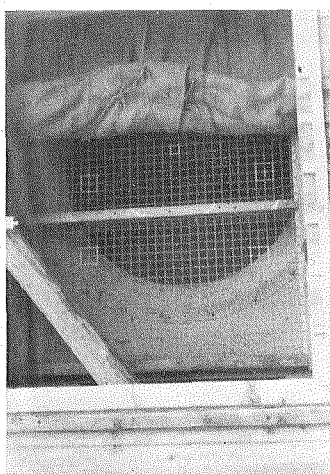


写真7-㉔ 送風機吸入口の1/3 遮蔽

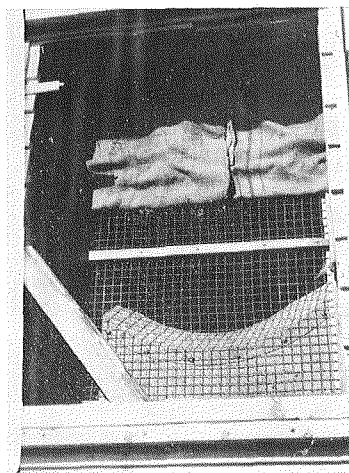


写真7-㉕ 同左、1/2 遮蔽

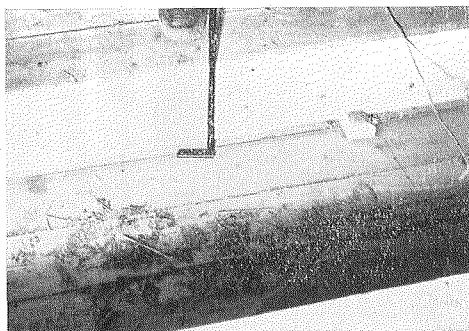


写真8 ラテラル出口に於ける風速測定



写真9 送風前の牧草種子の撒布状況



写真 10-A



写真 10-B

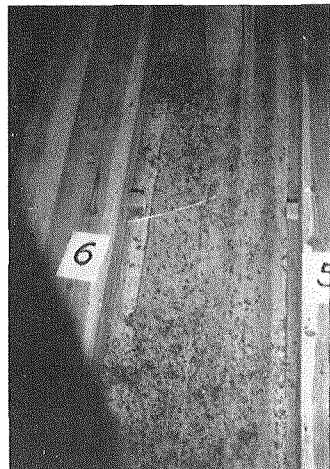


写真 10-C



写真 10-D

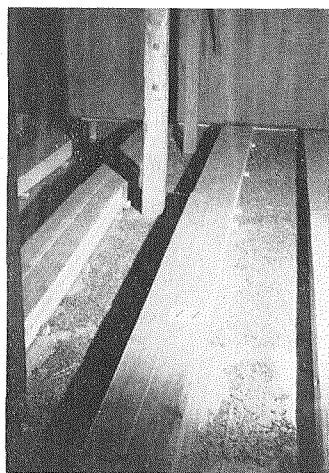


写真 10-E

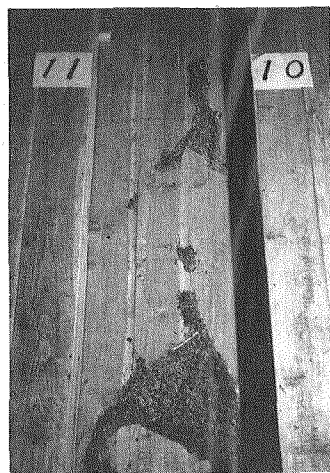


写真 10-F



写真 10-G

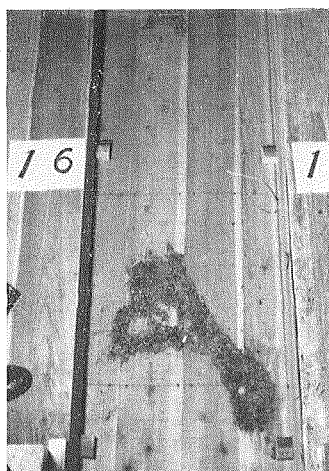


写真 10-H

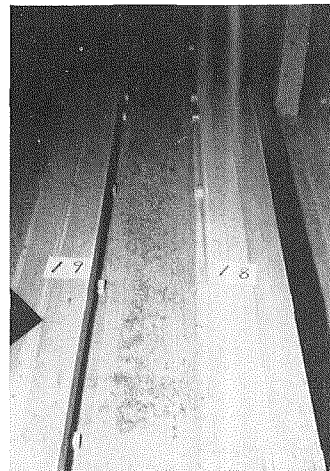


写真 10-I



写真 10-㉑



写真 10-㉒



写真 10-㉓

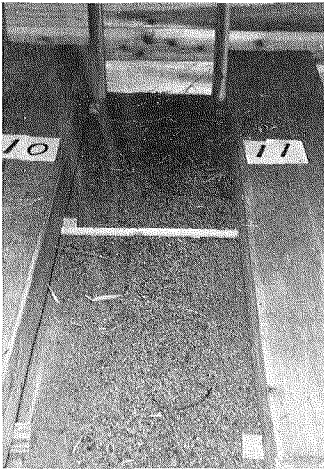


写真 11-㉐

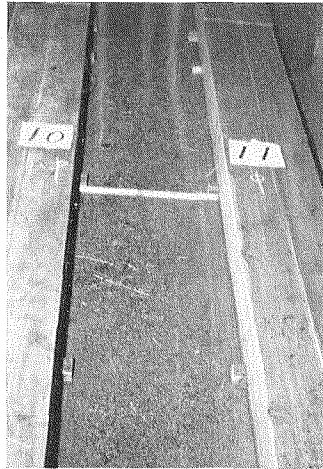


写真 11-㉑

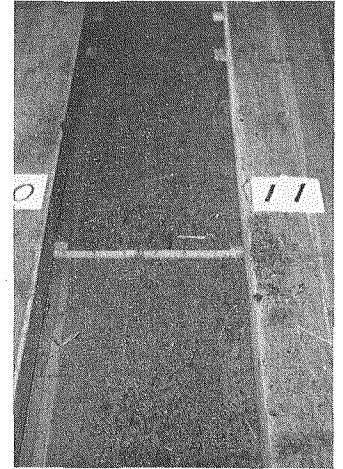


写真 11-㉒

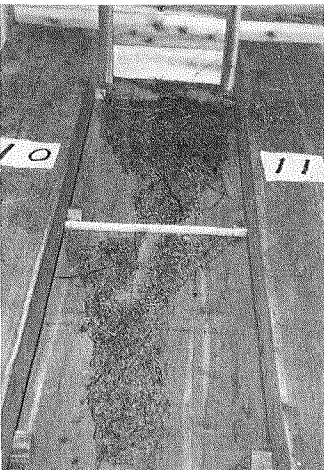


写真 12-㉐

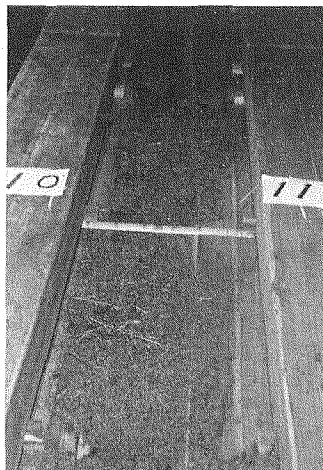


写真 12-㉑

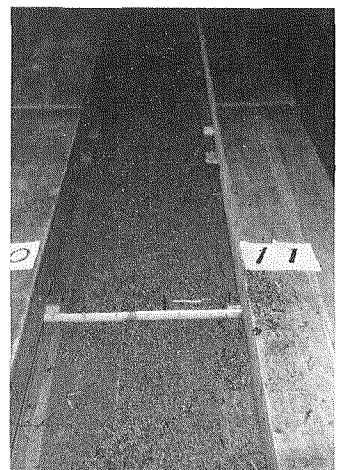


写真 12-㉒

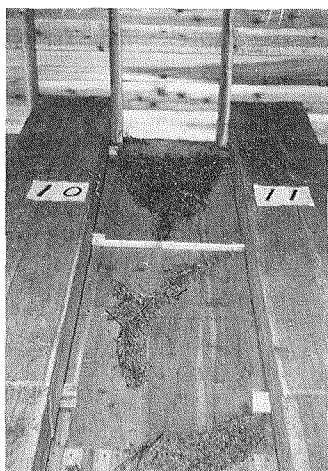


写真 13-A

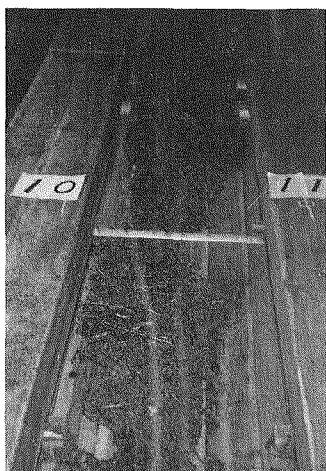


写真 13-B

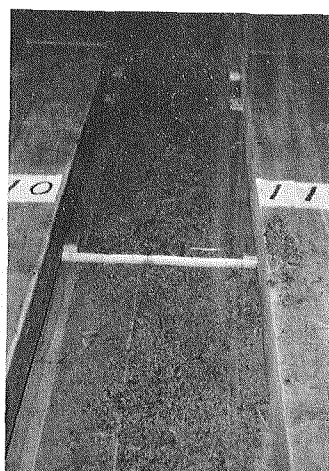


写真 13-C

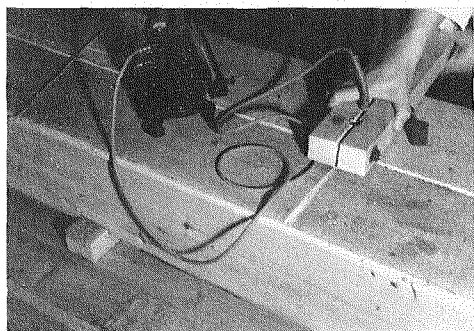


写真 14 ラテラル内の静圧測定状況



写真 15 草丈の調査



写真 16 重量測定



写真 17 トラクター用モアによる  
牧草の刈取作業



写真18 馬曳用テッダーによる牧草の反転作業

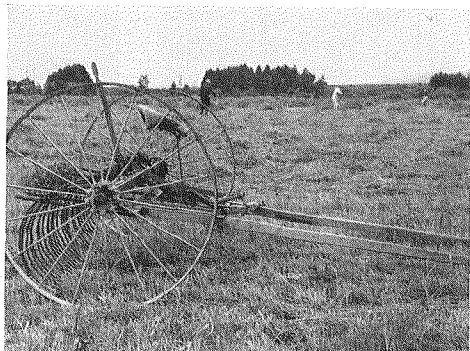


写真19 馬曳用レーキ



写真20-Ⓐ 牧草の小山



写真20-Ⓑ 牧草の中山



写真20-Ⓒ 牧草の大山



写真21-Ⓐ 圃場に於ける牧草の小山群



写真 21-㉔ 圃場に於ける牧草の大山群



写真 22 牧草のひろげ作業



写真 23 牧草の運搬作業



写真 24-㉔ キヤリヤーによる牧草の積込作業

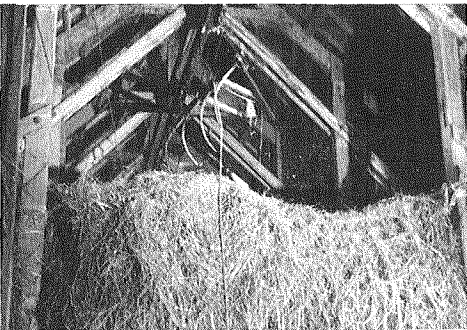


写真 24-㉔ キヤリヤー及び天井近くまで積み込まれた牧草の状況



写真 27 乾燥宮内に於ける牧草の積込状況

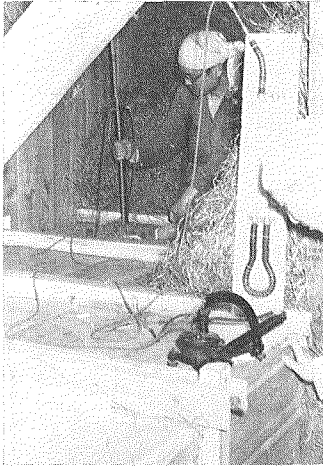


写真 26 牧草積込時における風量測定状況

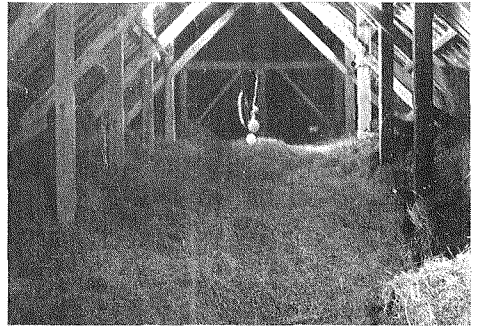


写真 27 ゴム風船を利用せる簡易風速測定法



写真 28-Ⓐ 線香の煙による簡易風速測定法, 送風前

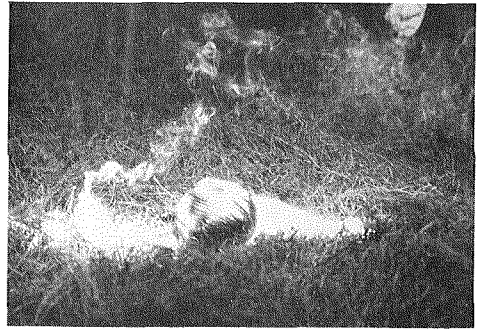


写真 28-Ⓑ 同左, ラテラル5本閉めの場合の煙の状態

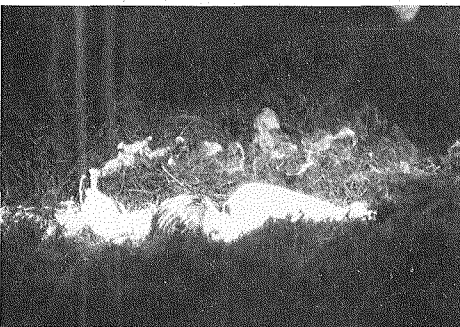


写真 28-Ⓒ 同上, ラテラル10本閉めの場合の煙の状態

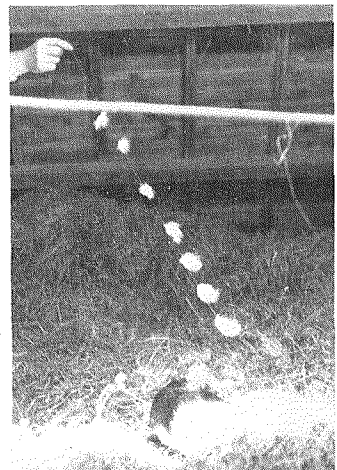


写真 29-Ⓐ 線香と羽毛の比較

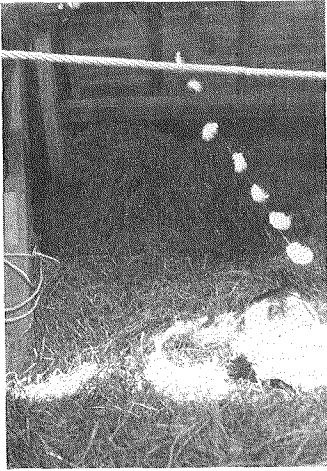


写真 29-㊦ 線香と羽毛の比較



写真 29-㊧ 同 左

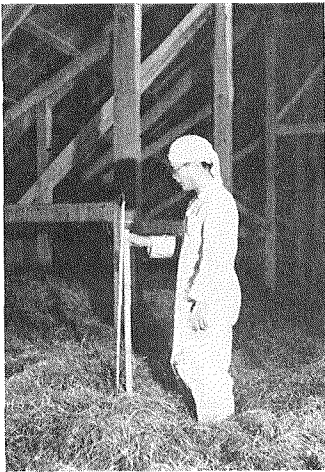


写真 30 堆積牧草の静圧測定状況

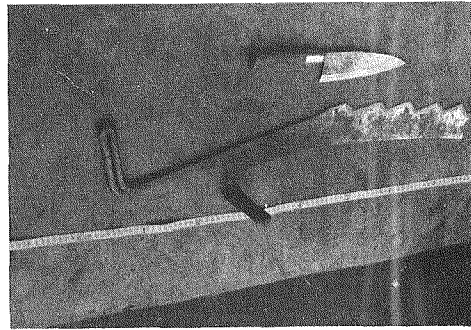


写真 31 牧草截断用力

## 参 考 文 献

- 1) BAKER, H. Vernon, 1951: The Oil-Burning Crop Drying Unit, *Agr. Eng.* **32** (12): 657.
- 2) BARGER, E. L. SH EDD, C. K. and Giese Henry, 1947: New Designs for Barn Hay Drying Systems, *Agr. Eng.* **28** (7): 305.
- 3) BERRY P. E., 1957: Development of a Heat Exchanger for Grain and Hay Drying. *Journal of Agr. Eng. Resc.* **2** (4): 250-261
- 4) BICKEL, H., 1956: Zur Frage des Strömungswiderstandes Von Luzern und luzernehaltigem Dürrfutter in Belüftungsanlagen. *Landtechnische Forschung* **3**. 75-78
- 5) BRUHN, H. D., 1955: Status of Hay Crusher Development. *Agr. Eng.* **36** (3). 165-170
- 6) BUELOW, F. H., 1959: Air-Flow Measurement in Crop Driers (Instrument News). *Agr. Eng.* **40** (4) 218.
- 7) Clyde, A. W., 1946: Distribution of Air in Long Hay. *Agr. Eng.* **27** (4): 159.
- 8) Farm Mechanization, 1957: Grass Conservation. **9** (102) 444-445
- 9) CRANAGE, Thomas, 1946: Analysis of Types of Fans for Curing Hay in the Mow. *Agr. Eng.* **27**, (11). 509-513, 517
- 10) DAVIS, R. B. Jr., 1947-a: Mow Drying Chopped and Long Alfalfa Hay. *Agr. Eng.* **28** (3). 105-108
- 11) ———, 1947-b: Supplemental Heat in Mow Drying of Hay (I). *Agr. Eng.* **28** (7): 289-290.
- 12) ———, 1948: Supplemental Heat in Mow Drying of Hay (II). *Agr. Eng.* **29** (6). 251-254
- 13) ———, Barlow, G. E., and Brown, D. B., : 1950: Supplemental Heat in Mow Drying of Hay. (III). *Agr. Eng.* **31** (5). 223-226
- 14) ———, 1951: Fundamentals of Drying Baled Hay. *Agr. Eng.* **32** (1): 21.
- 15) ———, and BAKER, V. H., 1951: The Resistance of Long and Chopped Hay to Air Flow. *Agr. Eng.* **32** (2): 92-94.
- 16) ———, Drying Forage by Forced Ventilation. *Farmers' Bulletin*, No. 2028 U.S.D.A.
- 17) DAWSON, J. E., and MUSGRAVE, R. B., 1946: Respiration in Hay as a Source of Heat for Barn Drying Partially Cured Hay. *Agr. Eng.* **27** (12). 565-567
- 18) DEXTER, S. T., SHELDON, W. H. and WALDRON. Dorothy I., 1947: Equilibrium Moisture Content of Alfalfa Hay. *Agr. Eng.* **28** (7). 295-296
- 19) DOBIE, John B., 1948: Determining the Temperature Gradient in Hay. *Agr. Eng.* **29** (4): 160-161.
- 20) FELDMANN Friedrich und SCHÖN Alfred, 1958: Rostkanal-Anlage-ein neues System der Heubelüftung. *Landtechnik* **21**: 662.
- 21) FRUDDEN, C. E., 1946: Factors Controll in the Rate of Moisture Removal in Barn Hay-Curing Systems. *Agr. Eng.* **27** (3): 109.
- 22) GUILLOU Rene, 1946: Forced Air Flow in Drying Hay. *Agr. Eng.* **27** (11): 519.
- 23) HALL. Carl W., 1957: Drying Farm Crops, 218-220. Edwards Brothers, Inc.
- 24) ———, 1957: Drying Farm Crops, 231-232. Edwards Brothers, Inc.
- 25) HAYNES, B. C. Jr. and SMITH, L. L., 1955: Psychrometric Equipment for Recording Potentiometers. *Agr. Eng.* **36** (3). 192, 197
- 26) HEDLIN, C. P., 1954: A Relative Humidity Probe. *Agr. Eng.* **7**: 505.
- 27) HENDERSON, S. M., 1952: A Basic Concept of Equilibrium Moisture. *Agr. Eng.* **33** (1): 29.
- 28) ———, 1952: A Constant-Feed All-Temperature Wet Bulb. *Agr. Eng.* **33** (10). 644
- 29) HENDRIX, A. T., 1945: Resistance of Hay to Air Flow. *Agr. Eng.* **26** (9): 369-371.
- 30) ———, 1946-a: A Forced Ventilation Hay Drying. *Agr. Eng.* **27** (3): 113.
- 31) ———, 1946-b: Observations on the Resistance of Hay to Air Flow. *Agr. Eng.* **27** (5): 209.
- 32) ———, 1947-a: Air Flow through Baled Hay. *Agr. Eng.* **28** (6). 254-256
- 33) ———, 1947-b: Heat Generated in Chopped Hay and Its Relation to the Drying Effect. *Agr. Eng.* **28** (7). 286-288
- 34) JENNINGS, B. A., 1945: Mow Curing of Hay. *Agr. Eng.* **26** (3): 104-106.
- 35) KRAMER Arthur, 1947: Improved Duct Design for Mow Hay Finishers. *Agr. Eng.* **28** (2): 58.
- 36) KREYGER, J., 1957: Artificial Drying of Hay in Holland. *J. of Agr. Eng. Res.* **2** (4): 299.
- 37) MCCOLLY, H. F. and MARTIN J. W., Introduction to Agricultural Engineering, 292.
- 38) MCKNIGHT, R. E., 1946: Operation of Hay Driers in Virginia. *Agr. Eng.* **27** (4): 166.
- 39) MONTFORT, P. T., 1947: Supplemental Heat in Barn Hay Curing. *Agr. Eng.* **28** (3): 95.
- 40) RAMSER J. H., and LEHMANN E. W., 1946:

- Curing Hay in the Stack with Forced Air. *Agr. Eng.* **27** (4): 167.
- 41) RIST, M., 1956: Der Einfluss von Klima und Luftanwärmung auf die Unterdachtrockung von Heu. *Landtechn. Forsch.* **1**: 21-25
- 42) ROETHE, H. E., 1933: Spontaneous Heating and Ignition of Hay. *Agr. Eng.* **14** (4): 102-104.
- 43) ———, 1937: Spontaneous Heating and Ignition of Hay. *Agr. Eng.* **18** (12): 547-550.
- 44) SAUL, R. A., 1956: Continuous-Recording Wet-Bulb Apparatus. *Agr. Eng.* **37** (7): 488.
- 45) SEGLER, 1957: New Ideas from Germany. *Farm Mechanization*. **9** (94) 143
- 46) SHEDD, C. K., 1946: Resistance of Hay to Air Flow and Its Relation to Design of Barn Hay-Curing Equipment. *Agr. Eng.* **27** (4): 169.
- 47) ———, and BARGER, E. L., 1947: Curing Baled Hay. *Agr. Eng.* **28** (6): 257-258, 260
- 48) ———, 1953: A Micromanometer. *Agr. Eng.* **34** (3): 178.
- 49) SHIER, G. R., 1946: Calculating Fan, Motor and Duct Requirements. *Agr. Eng.* **27** (3) 121-122.
- 50) SMITH, H. P., 1955: *Farm Machinery and Equipment*. 446-463, McGraw-Hill Book Company, INC.
- 51) STEINBRUEGGE, G. W., 1946: Air Flow in the Main Duct of a Barn Hay-Drying System. *Agr. Eng.* **27** (5): 217-218.
- 52) STRAIT, J., 1944: Barn Curing of Hay With Heated Air. *Agr. Eng.* **25** (11): 421-423.
- 53) TAYLOR, J. G. and OREN, M. T., 1953: Thermistor Temperature Bridge. *Agr. Eng.* **34** (4): 256.
- 54) TERRY, C. W., 1948: Relation of Time and Operating Schedule to Hay Quality, Mold Development and Economy of Operation. *Agr. Eng.* **29** (5): 208-209, 214.
- 55) TURNER, C. N., 1945: New Development in Hay Harvesting and Curing. *Agr. Eng.* **26** (12): 501-503.
- 56) ———, 1946: Equipment for Handling Partially Cured Hay. *Agr. Eng.* **27** (4). 163, 165
- 57) *Farm Mechanization*, 1957: Twenty Types of Dryer. 474.
- 58) WEAVER, J. W., Jr. 1937: The Development of a Low Cost Hay Dryer. *Agr. Eng.* **18** (1): 25-27.
- 59) ———, and WYLIE C. E., 1939-a: Low Cost Drying. *Agr. Eng.* **20** (1): 13-14.
- 60) ———, and WYLIE, C. E., 1939-b: Drying Hay in the Barn and Testing Its Feeding Value. *Tenn. Agr. Exp. Sta. Bul.* 170.
- 61) ———, TETER, N. C. and USRY, S. H., 1949: The Development of a Farm Crop Drier. *Agr. Eng.* **30** (10): 475-476.
- 62) ZERFOSS, G. E., 1947: Hay Density in Relation to Various Factors. *Agr. Eng.* **28** (5): 205.
- 63) ZINK, F. J., 1935: Device for Sampling Hay. *Agr. Eng.* **16** (12). 478
- 64) 池谷武雄 1954: 流量測定法. オーム社.
- 65) 加藤勝三・山本兵三郎・中村敬止編集 1956: これからの酪農. 朝倉書店.
- 66) 木谷要一 1944: 湿度測定法. 共立出版社, 104.
- 67) 齋藤道雄 1941: 乾草とサイレージ (酪農叢書第8編) 乳牛タイムス.
- 68) 千田英二・森本 宏・山田豊一・三井計夫・倉田益三郎 1957: 有畜農家のための家畜の飼料. 朝倉書店.
- 69) 内丸最一郎 1957: 送風機及圧縮機, p. 124~151. 技報堂.
- 70) 渡辺鉄四郎・小川浄寿・福田正光・吉永 昭・伴 敏三 1953: 常温通風乾燥法に関する研究. 関東東山農業試験場研究報告, 第4号.

### Summary

Barn hay drying is one of the most effective methods of making good quality hay. It has become an accepted practice in the major hay producing regions of the United States and other countries. In Japan, only two or three driers have been used for artificial hay making. One of these, used at the Trappist Monastery in Oshima-Tobetsu, Hokkaido, is a duct system barn hay drier using unheated air equipment.

Though farmers in Japan are always anxious to harvest their hay crop and get it into storage in the best possible condition, they do not have enough information about harvesting,—and especially about the construction, performance, and operation of barn hay drying equipment.

For this reason, this investigation was undertaken at the Trappist Monastery in Oshima-Tobetsu to determine the performance of a barn hay drier and to develop standards for the practical operation of driers in Japan. The investigation was carried out from August to October in 1958 and from June to July in 1959.

This paper is based upon field observations of equipment operating under actual farm conditions, rather than controlled laboratory experiments. It

describes fundamental tests on the performance of the fan, duct system, and other installations without hay. Besides, this paper summarizes several experiments on the three basic factors that are largely responsible for the drying performance for hay with the duct system, namely, (1) resistance pressures, (2) moisture content of hay and (3) changes in temperature in the hay mow. The relationship of these factors to drying performance is analyzed in this paper. From these analyses, the proper handling and operating of barn hay drying equipment will be described.

### 1. FUNDAMENTAL PERFORMANCE OF TEST SYSTEM

The barn hay drying system can be installed in almost any type of existing barn if certain conditions are met. The tested drier was similar to the T.V.A. system. It was built into the upstairs of an existing cow barn. The installation was composed of a fan driven by an electric motor, and two air distribution systems. Each distribution system consisted of a main air duct 42.1 meters in length, which was placed along one side of the mow with laterals extending out from the duct, covering part of the mow floor. In this paper, these two distribution systems are called respectively the A-system, which has 15 laterals, and the B-system, which has 19 laterals. The detailed size and shape of the main duct, laterals, and mow floors are described in this paper.

The air can be forced alternately from the main duct into the A-system or the B-system. The fan is located at the center of the duct. The air is distributed to the laterals through openings at the bottom of the side of the main duct.

It should be noticed that in order to decrease excessive air losses which are caused by obstructions on the mow floor, such as posts and braces, the openings of the laterals at both sides of the posts are partially closed. Also it should be noticed that to reduce resistance of airflow through the hay, special triangular stacks were installed along the center of the floor of the A-system under the track.

A study of air velocity, amount of air, and static pressures of the main duct and laterals without hay was carried out on these two systems. These factors were measured by an inclined tube manometer, a pitot tube and a self-made pressure measuring

pipe.

The conclusions obtained from these studies were as follows:

1. In the A-system, the volume of the main duct was 39.3 m<sup>3</sup>/min. per sq. meter of mow floor area, and for the B-system it was 23.3 m<sup>3</sup>/min. As compared with the usual air volume in other countries, these volumes seem to be a little smaller. However, it is assumed that when the mow level of hay is low, as in Japan, these volumes will be sufficient for drying hay under proper conditions.

2. It was determined that the main ducts and laterals were large enough for the above air volume.

3. The distribution of static pressure and velocity of air flow in the laterals of the tested systems was a little different from that of the conventional duct systems, such as reported by Steinbrugge, because in the tested systems, the outlets of the laterals were partially closed.

A new method for determining the velocity or intensity of airflow in the laterals was used for the first time in this investigation. This method, which involved the scattering of small particles such as grass seed and chaff on the mow floor, proved to be very convenient and practical.

4. The fan driven by a 15 hp. electric motor had sufficient capacity not to be over-loaded even at peak times. However, in order to secure higher efficiency of the drier, it will be necessary to develop other means for power-transmitting devices.

### II. DRYING PERFORMANCE OF TEST SYSTEMS

Two lots of hay were tested for drying performance by the duct system driers at the Trappist Monastery. The first lot of hay was first-cutting orchard grass and clover mixed hay, and the second lot was second-cutting orchard grass and clover mixed hay. The first lot was placed on the A-system in June 1959, and the second lot was placed on the B-system in August 1958.

These lots are respectively named A-59 and B-58 in this paper.

Each lot when it was cut contained 72 to 76% moisture.

#### 1. Predrying of Tested Hay

The predrying of hay is the most important process for the management of the drier. The predrying method varies from one country to another.

This investigation, therefore, was made to determine a proper predrying system for Hokkaido and Northern Honshu. From this investigation, it was found that the predrying methods at the Trappist Monastery were reasonable and thus, they are recommended as follows:

(1) To obtain the best quality hay, it must be cut at the proper stage of maturity. For orchard grass, the first-cutting should be started just before the bloom stage, or a little earlier. This will also increase the yield of the second-cutting and accordingly, the total yield for the year.

(2) On any single day only as much hay should be cut as can be treated as described below.

(3) The hay should be cut in the morning, exposed to the sun as much as possible, and turned over by a tedder one or two times during the day.

(4) It is necessary to rake into small, loosely turned windrows and make shocks in the field in the late afternoon to avoid losses by rain or dew during the night.

The following morning the shocks should be scattered and the first day's process repeated until the hay is ready for the drier.

(5) At the Trappist Monastery, it was practical to predry orchard grass to about 40% moisture before it was placed on the drier. It required 3 to 4 days for first-cutting hay, and 2 to 3 days for second-cutting hay under favorable conditions.

## 2. Drying Process in the Drier

After predrying, the hay was placed on the drier 50 to 200 cm in depth at a time, at intervals of from 2 to 3 days depending on drying conditions.

From the observation of the drying process in the dryer, high quality dried hay was obtained for B-58, but for A-59, since drying was slow, a small amount of mold resulted.

The feeding value of both lots of hay was high enough to be sold for reasonable prices.

When the fan was operated, the volume of air was 33.3 m<sup>3</sup>/min. per sq. meter of mow floor area for the A-duct-system, and 28.1 m<sup>3</sup>/min. for the B-duct-system. With these air flows the static pressures were 12.5 mm of water for 430 cm of hay depth and 15.0 mm of water for 330 cm of hay depth, respectively.

## 3. Pressure Distribution in the Mow Hay

It is important to dry evenly the mow hay placed on the drier. To accomplish this, uniform air dis-

tribution is needed. From this viewpoint, tests were made to determine static pressure distribution in the hay mow. Measurements of pressure were made at every 30 cm of depth.

The results obtained were as follows:

(1) From the vertical and horizontal distribution of static pressure, it was concluded that most of the air loss occurred near the sides of the walls and the posts.

(2) The triangular stacks installed particularly on the A-system improved air distribution very little because of air loss around the walls and posts.

The study of static air pressure distribution in the mow hay revealed that the unevenness of pressure distribution was caused mainly by the uneven distribution of hay density.

The hay fell from the overhead fork, and thus tended to be packed at center of the mow. Therefore, to reduce air loss, the hay should be distributed evenly. Particularly it should be packed well around the sidewalls and the posts.

## 4. Temperature Gradient in the Mow Hay

After hay is placed in the mow it goes through a sweating process which will increase its temperature to 50°C. This increase in temperature is caused from the heat produced by respiration and bacterial activity. This increase in temperature had been also noticed in the mow hay at the Trappist Monastery. But much research is needed in the whole field of temperature of mow hay, and this investigation was carried out to determine details on these problems by using the A-59 lot of hay.

The results obtained were as follows:

(1) In June and July, 1959, low air temperatures prevailed and the air humidity was very high. Thus, the drying rate for hay was low. At the fifth day after placing the hay, the temperature in the mow hay rose beyond 30°C, revealing bacterial activity. Accordingly, the fan was operated to reduce the temperature.

(2) Temperature changes such as cited above depended on (1) the initial moisture content of hay, (2) the amount of air passing through the hay, (3) the amount of time for fan operation, (4) the surrounding air temperature, and (5) the relative humidity. The initial moisture of the hay depended on the predrying process and the surrounding air conditions when the hay was drying in the drier. Therefore, proper schedules for the operation of

the fan is considered the most important problem of drying hay.

(3) The vertical distribution of temperature showed that the maximum points were distributed irregularly.

(4) After blowing during sufficient hours, the temperature of the mow hay decreased and balanced with the air temperature and sometimes even dropped below the air temperature. However, when blowing was not continued long enough to cool down the hay completely, heat accumulated in the hay, and the maximum point of temperature moved to the top surface of the hay.

(5) The horizontal distribution of temperature showed that the temperature at the center part of the hay was higher than at any other place, because of its greater density.

(6) Temperature has been usually measured at the surface of the hay. It might be reasonable to measure temperature at the surface of the hay to determine mold development after a long period of blowing. But it should not be used to determine temperature after a short period of blowing.

#### 5. Moisture Content of Hay During the Process of Drying

The moisture content of hay is an index of the drying performance of the hay driers. From this investigation the following variations in the moisture content of lots A-59 and B-58 were found during the process drying.

(1) Usually, the moisture content of first-cutting hay, especially in the stem, is more than that of second-cutting hay, and accordingly the drying period for first-cutting hay is longer than for second-cutting hay. At the Trappist Monastery, it required two weeks for B-58 to be completely dried, while it required four weeks for A-59.

(2) Care should be taken not to place exceedingly wet or dirty hay on the system. This will cause mold development.

(3) Regardless of the method used for determining the moisture content, there are possibilities of errors in making the determinations. The major problem is that of securing a sample which is representative of the entire lot of hay.

In other field tests of hay driers, several samples have been usually obtained from the surface of the hay. But, this investigation of the vertical distribution of moisture content in the hay just after it was

placed on the drier revealed that samples obtained from the surface of the hay were not representative of the entire lot. However, it was found that as drying progresses, the moisture content is distributed evenly throughout the whole lot of hay.

The performance of the duct system hay drier has been already summarized above in this paper, and it was found that successful forced-air drying depends, to a large extent, on the proper operation and management of the drier. Therefore, these experiences and studies on the performance of the drier at the Trappist Monastery have indicated the proper operation and management of the drier as follows:

(1) It was found from the studies on the relation between pressure and temperature distribution in the hay mow, that spots of highest static pressure corresponded to the spots of highest temperature, and that these variations of static pressure and temperature depended upon the method of placing uniformly over the drying system so that the static pressure may be distributed evenly at all spots. For instance, the hay should be packed only at the sides of the walls and posts, while under the overhead fork it should be placed loosely.

(2) Schedules for the operation of the fan depend to some extent on the surrounding weather conditions. Under relatively wet conditions, such as prevail in Japan, it is recommended that the fan be operated continuously during the daytime as soon as the hay is placed in the mow until it has dried to some extent. Even at night or during periods of rain or fog, the fan may be operated for 1 to 2 hours every several hours at times when an increase in temperature in the hay is likely to occur.

The temperature of the hay may be considered as an index of the time when the fan should be operated. Thus, if the fan is operated the temperature of the hay will be lowered and it will fall to a point of constancy under the surrounding air temperature. When the hay is not dry, more time will be required to reach a constant temperature. When the hay has dried sufficiently this time will be shorter. Maximum temperature will be moved up to the surface of the hay with the operating of the fan, thus when the maximum temperature passes to the surface of hay it may be considered to be dry enough for storage and the fan can be discontinued.

(3) To determine when the hay is dry enough

for safe storage, the moisture content is used as an index. In Japan, there is not now available an inexpensive method of sufficient accuracy which can be used generally by farmers for determining hay moisture content.

According to recent books, in other countries, simple and practical methods of moisture determination for hay have become important. The "Rule of Thumb" or Imamura's method may be practical to determine hay moisture.

However, measuring temperature is recommended

as the most effective and practical method to determine the completion of the drying process. This can be done by using thermometers to measure temperatures of the air and hay at the surface. Hay temperatures below the surface can be determined by placing a thermometer at the bottom of a long pointed metal pipe and inserting it into the hay.

The end of the drying procedure can be determined by comparing the temperature of the hay with the temperature of the surrounding air as described above.