HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	生もみ乾燥の合理化に関する実験的研究
Author(s)	伊藤, 和彦
Citation	北海道大学農学部邦文紀要, 11(1), 20-94
Issue Date	1978-07-28
Doc URL	http://hdl.handle.net/2115/11905
Type	bulletin (article)
File Information	11(1)_p20-94.pdf

Instructions for use

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

生もみ乾燥の合理化に関する実験的研究

伊　藤　和　彦
(北海道大学農学部農業工学科農畜産加工機械学講座)

(昭和52年7月14日受理)

A Study on the Rationalization of Drying Rough Rice

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

目　次

第I章　緒　　論 …… 22
第1節　緒　　言 …… 22
第2節　我国におけるもみ乾燥法の変遷 …… 23
第3節　国内および国外におけるもみの人工乾燥に関する研究 …… 24
第II章　テンパリング乾燥に関する基礎実験 …… 24
第1節　実験目的および実験方法 …… 24
A. 実験目的 …… 24
B. 実験方法 …… 25
1. 実験条件の設定 …… 25
2. 供試材料の調整 …… 25
3. 測定項目および測定方法 …… 25
a. テンパリング期間中における玄米から稃への水分移行量 …… 25
b. テンパリング期間中における試料の品質試験 …… 25
1) もみの臭気 …… 25
2) 胚の活性度 …… 25
3) 玄米の脂肪酸度 …… 26
4) 搗精歩留りおよび精米の炊飯特性 …… 26
イ) 搗精歩留り …… 26
ロ) 精米の炊飯特性 …… 26
i) 加熱吸水率 …… 26
ii) 膨張容積 …… 26
iii) 炊飯液のヨード呈色度 …… 26
iv) 炊飯液中の溶出固形物量 …… 26
C. 供試材料 …… 26
第2節　実験結果および考察 …… 26
A. テンパリング期間中における玄米から稃への水分移行量 …… 26
B. テンパリング期間中における試料の品質試験 …… 29
1. もみの臭気 …… 29
2. 胚の活性度 …… 29
3. 玄米の脂肪酸度 …… 29
4. 搗精歩留りおよび精米の炊飯特性 …… 31
第3節　要　　約 …… 32
第III章　テンパリング時間を3時間に規定した回分式テンパリング乾燥実験 …… 33
第1節　実験目的および実験方法 …… 33
A. 実験目的 …… 33
B. 実験装置の概要 …… 33
C. 実験方法 …… 34
1. 実験条件の設定 …… 34
2. 測定項目および測定方法 …… 34
a. 試料水分 …… 34
b. 温湿度および通風量 …… 34
c. 胴割れ率 …… 34
d. 発芽率 …… 35
e. 玄米および精米の光沢 …… 35
D. 供試試料 …… 35
第2節　実験結果および考察 …… 35
A. 通風条件が乾減率におよぼす影響 …… 35
1. 乾燥過程における実測例 …… 35
2. 通風条件と乾減率との関係 …… 36
B. 通風条件が品質におよぼす影響 …… 40
1. 胴割れ率 …… 40

a. 通風条件と胴割れ率との関係 …… 40
b. 乾減率と胴割れ率との関係 …… 42
c. もみ温度と胴割れ率との関係 …… 42
d. 乾燥過程中および乾燥仕上り後の胴割れ率 …… 43
2. 発芽率 …… 44
3. 玄米および精米の光沢 …… 44
第3節 要約 …… 44
第IV章 テンパリング時間を変えた場合の回分式テンパリング乾燥実験 …… 45
—低水分もみを用いた場合—
第1節 実験目的および実験方法 …… 45
A. 実験目的 …… 45
B. 実験装置 …… 45
C. 実験方法 …… 45
1. 実験条件の設定 …… 45
2. 測定項目および測定方法 …… 45
D. 供試材料 …… 46
第2節 実験結果および考察 …… 46
A. 乾燥条件が乾減率におよぼす影響 …… 46
1. 乾燥過程における実測例 …… 46
2. 乾燥条件が乾減率におよぼす影響 …… 47
B. 乾燥条件が品質におよぼす影響 …… 48
1. 乾燥条件と胴割れ率との関係 …… 48
2. 乾燥条件と発芽率との関係 …… 50
第3節 要約 …… 50
第V章 テンパリング時間を変えた場合の回分式テンパリング乾燥実験 …… 51
—高水分もみを用いた場合—
第1節 実験目的および実験方法 …… 51
A. 実験目的 …… 52
B. 実験装置 …… 52
C. 実験方法 …… 52
1. 試作湿度計の較正試験 …… 52
2. 実験条件の設定 …… 53
3. 測定項目および測定方法 …… 53
a. もみ水分および仕上りもみの品質 …… 53
b. テンパリング期間中における玄米から稃への水分移行量 …… 53
c. テンパリング期間中におけるもみ粒子間空気の温湿度 …… 53
d. 排気の温湿度 …… 53
D. 供試材料 …… 53
第2節 実験結果および考察 …… 54
A. 試作湿度計の較正試験 …… 54
B. 乾燥条件が乾減率におよぼす影響 …… 55
1. 乾燥過程における実測例 …… 55
2. 乾燥条件が乾減率におよぼす影響 …… 55
C. 乾燥条件が品質におよぼす影響 …… 56
1. 乾燥条件と胴割れ率との関係 …… 56
2. 乾燥条件と発芽率との関係 …… 58
D. テンパリング効果の解析 …… 58
1. テンパリング期間中における玄米から稃への水分移行 …… 58
a. 乾燥過程における実測例 …… 58
b. 乾燥条件と水分移行量との関係 …… 59
c. テンパリング回数と水分移行量との関係 …… 59
d. テンパリング開始時における玄米と稃の水分差とテンパリング回数との関係 …… 62
2. テンパリング期間中におけるもみ粒子間空気の温湿度変化 …… 64
3. 排気の温湿度変化 …… 68
第3節 要約 …… 70
第VI章 テンパリング時間を変えた場合の循環式テンパリング乾燥に関する実験 …… 70
第1節 実験目的および実験方法 …… 70
A. 実験目的 …… 71
B. 実験装置の概要 …… 71
1. 乾燥部 …… 71
2. 搬送部 …… 72
C. 実験方法 …… 72
1. 試作実験装置の較正試験法 …… 72
2. 実験条件の設定 …… 72
3. 測定項目および測定方法 …… 73
a. もみ水分の測定 …… 73
b. 温湿度および通風量等の測定 …… 73
D. 供試材料 …… 73
1. 試作実験装置の較正試験に供した材料 …… 73
2. 供試材料 …… 74
第2節 実験結果および考察 …… 74
A. 実験装置の較正試験 …… 74
1. もみの循環速度 …… 74
2. 循環によるもみの機械的損傷 …… 74
B. 乾燥実験結果 …… 75
1. 乾燥条件が乾減率におよぼす影響 …… 75

2. 乾燥条件が乾燥仕上りもみの品質におよぼす影響 …… 76
a. 乾燥条件と胴割れ率との関係 …… 76
b. 乾燥条件と発芽率との関係 …… 77
3. テンパリング効果の解析 …… 77
a. テンパリング期間におけるもみ粒子間空気の温湿度変化 …… 77
b. 通風期における排気の温湿度変化 …… 79
第3節 要 約 …… 80
第VII章 合理的な乾燥体系に関する検討 …… 80
第1節 個人用乾燥機に適用する場合 …… 80
A. 生もみを1段乾燥方式によって乾燥仕上げる場合 …… 80
B. 生もみを半乾貯留2段乾燥方式によって乾燥仕上げる場合 …… 82
第2節 共乾施設においてマルチパス方式を採用した場合 …… 83
A. 生もみを1段乾燥方式によって乾燥仕上げる場合 …… 84
1. 乾燥機が1台の場合 …… 84
2. 乾燥機が2台の場合 …… 85
B. 生もみを半乾貯留2段乾燥方式によって乾燥仕上げる場合 …… 85
1. 生もみを水分17%の半乾もみに調製する場合 …… 85
2. 水分17%の半乾もみを水分15%の乾燥仕上りもみに仕上げ乾燥する場合 …… 86
第3節 要 約 …… 86
第VIII章 結 論 …… 87
引用文献 …… 90
SUMMARY …… 91

第I章 緒 論

第1節 緒 言

最近，我国における稲作の機械化一貫作業体系は，ほぼ完成したものとみなされる。従来，稲作作業の二大隘路といわれた田植および収穫の作業はそれぞれ育苗施設と田植機および収穫機と人工乾燥機との組み合わせによって機械化に成功した。特に，収穫機の発達は目ざましく，我国で開発された自脱型コンバインは性能の向上と並行して，大型化が計られ，今後労働力不足の進行に伴ってますます普及するものと考えられる。

一方，乾燥作業は製品もみの品質を最終的に決定づける工程であると同時に稲作栽培技術の近代化を計る上で合理化を行なう余地を残している最後の工程でもある。

今，自脱型コンバインによって収穫された比較的高水分もみを従来の連続通風乾燥方式を採用している乾燥機を用いて乾燥する場合，熱風通風乾燥過程における胴割れの発生，光沢の低下，自然乾燥ではみられない着色および食味の低下等の品質低下を回避するには，乾減率を毎時平均0.5～0.8%程度に抑制することが推奨されている[17),41),42)]。したがって乾燥は品質保持の見地から低速度で行なわれるので，能率的に収穫される生もみを従来の乾燥方式で処理するには，乾燥機の大型化を計るか，あるいは基数を増設して対応しなければならない。かかる実態に対応するには，改めて生もみの乾燥機構を究明し，同時に胴割れ発生原因等を探索して品質の低下を抑制しつつ，しかも乾燥能率を高めうる合理的な生もみの乾燥方式を緊急に確立する必要がある。

近年，米国において従来の連続通風乾燥方式と比較して乾燥速度が大きく，胴割れの発生が少ないテンパリング乾燥方式に関する研究が行なわれた[9),35),47),48)]。

最近，我国においてもテンパリング乾燥方式による乾燥機が急速乾燥機として生産，市販されるようになった。しかし，この乾燥方式は急速乾燥方式であるが故に製品もみの品質を損うおそれが多分にあると懸念され，この方式は国内産もみの乾燥方式として不適当であるとする意見も一部研究者の間にある。この意見に対して筆者はテンパリング乾燥方式は，乾燥条件を適切に設定することによって合理的な乾燥方式になりうるものと推理し，テンパリング乾燥方式に関する研究に着手した。

筆者は本研究の主目的をテンパリング乾燥の理論的解析を行なうことよりむしろ合理的なテンパリング乾燥機の設計並びにこれを適切に使用するための資料を得ることに置いた。したがって，実験を行なう際，比較的多量の供試材料を用いるとともに乾燥条件，すなわち通風温度，通風量，通風時間およびテンパリング時間の組み合わせも実用に供し得る範囲を中心にして設定した[19),20),21)]。

本研究はまず第一に合理的なテンパリング時間を設定するための資料を得る目的で，初期水分の異なる試料を用いて基礎実験を行ない，テンパリング期間中における玄米から稃への水分移行量およびもみ，精米の品質測定を行なった。次に，回分式テンパリング乾燥方式における通風条件と乾減率および品質との関係をテンパリング時間を規定して検討した。次に，テンパリング時間およ

び通風条件と乾減率および品質との関係を究明し，これらの結果を参考にして循環式実験装置を試作して，循環式テンパリング乾燥方式における各種乾燥条件と乾減率およびもみ品質との関係を究明し，最後に本研究で得た実験結果を用いて合理的な乾燥体系の検討を行なった。

筆者は，本研究の結果を参考にして，ますます優れたテンパリング乾燥機が設計製作される一方，テンパリング乾燥機を使用する農家個人および共同乾燥施設のオペレータが乾燥機に対し，正しい知識を持って適切な乾燥操作を行ない，良品質の製品もみを生産されることを期待して止まない。本研究の実施に当り終始懇篤な御指導を賜わった恩師北海道大学農学部教授吉田富穂博士に対し深謝するしだいである。さらに本論文全般にわたって御校閲をいただき，御指導と御助言をいただいた同学部教授後藤寛治博士，岡村俊民博士，松居勝広博士に深く感謝するしだいである。又研究の遂行に当り御指導いただいた，同学部助教授池内義則博士，助手松田従三博士ならびに教室の皆様方および卒業年次の学生諸君に深謝するしだいである。

本研究の一部は文部省科学研究補助金および北海道科学研究補助金を受けて実施されたものであることを併記し，感謝の意を表すしだいである。

第2節　我国におけるもみ乾燥法の変遷

我国におけるもみの乾燥は近年まで専ら自然乾燥法に依存してきた。1905年，我国で最初の簡易火力乾燥機が大分県で試作されたがこの乾燥機は棚干式であり，送風機は付設されていなかった。熱源として，もみ殻，煉炭等を用いていたので火力の調節を十分に行なうことができず，乾燥むらが大きく，しかも乾燥能率が低い等の欠点があり，以後ほとんど普及しなかった。1953年に早期出荷奨励金制度が発足したことにより収穫時期が早まり農家はもみ乾燥機の出現を待ち望んだ。食糧庁は米質および貯蔵性の向上の必要性を痛感して，1955年から東北地方を中心に約3,000台の小型静置式火力乾燥機を貸与し，これの普及奨励に乗り出した。1958年ごろから，静置式常温通風乾燥機の研究が，関東東山農試の渡辺等によって開始された[49)~52)]。本乾燥機には比較的大容量の送風機が付設されており，常温通風を原則としているが外気の状態如何によっては火炉を用いて加温通風を行なうことが可能であった。したがって天候に比較的左右されずに乾燥作業を行なうことができ，これに加えて構造が簡単で使用法が容易であるため本乾燥機が実用化された1956年から5年間で約65万台の普及をみ，いわゆる「通乾時代」をきずいた。初期の静置式乾燥機は横型（平面型）であり，比較的広い床面積をしめる欠点があったが，縦型（立体型）静置式乾燥機の開発によってこの欠点は解消された。しかし，静置式乾燥方式を採用した場合，乾燥速度を高める目的で苛酷な通風条件を適用すると胴割れ率が増加し，もみ品質をいちぢるしく低下させることになる。したがって通風温度の上限値を外気温度＋10°C，通風空気の相対湿度の下限値を35％とするように推奨された。かかる通風条件を用いた場合，乾減率は0.5％/hr程度にとどまるので低能率な乾燥作業を余儀なくされた。

1962年に開始された第1次農業構造改善事業に伴って普通型コンバインが導入され，これに伴って生もみもしくは半乾もみを能率的に乾燥できる乾燥機の開発が強く要望され，1965年に連続通風式循環乾燥方式を採用した乾燥機が開発，市販されるに至った。本乾燥機は静置式乾燥機と比較して品質低下の度合いが少ないため，乾減率を0.8％/hr程度まで高めることが可能であり，さらに乾燥機へのもみの張り込み，および排出を比較的容易に行なえる長所を有していた。しかし，本乾燥機は乾燥期間の全期を通じてもみに通風を連続的に送る方式を採用しているため，もみ水分が減少するにつれて乾燥速度が低下する欠点を有していた。この欠点を可及的に解決する乾燥方式としてテンパリング乾燥方式が開発され，我国においても1967年，テンパリング乾燥機が市販された。テンパリング乾燥方式は通風とテンパリングとを交互に行ない，通風期に高温，大風量の空気を比較的短時間送り，急速乾燥を行なわしめ，テンパリング期において玄米内部の水分を籾へ移行させ，続く通風期における乾燥速度の復元を計るとともに，もみ温度の調整を行ない品質の低下を抑制する乾燥方式である。1968年に早期出荷奨励金制度が廃止されたが，1970年ごろから我国で開発された自脱型コンバインが急速に普及し，高水分生もみが短時間に多量に収穫されるようになった。このような高性能収穫機の普及に対応すべく，テンパリング乾燥方式の乾燥機が共同乾燥施設および個人農家に急速に導入され，今やこの方式の乾燥機がもみ乾燥機の主流を占めている現況である。1971～1972年に亘って，米の在庫が国内の年間消費量の約60％に達し，米の生産調整，自主流通米制度の発足，さらに消費者米価の物統令適用除外など諸情勢の変化に伴って，米に対する主に消費者の評価基準は従来の量的確保から質的向上へと変化した。かかる情勢の変化に対応して，もみの乾燥作業は品質の保全に重点が置かれるようになり，テンパリング

乾燥方式の乾燥機も比較的低温度，大風量の通風を行なう方式のものが開発された。一方，乾燥機から発生する塵埃による公害を極力回避する目的で，通風吸引方式を採用した乾燥機も市販されている。

最近，収穫作業の機械化の進展に加えて作付品種の集中化が進行し，収穫期間が短縮され，乾燥機への負荷はますます増大しつつある。かかる現状を打開する一つの方策として半乾貯留2段乾燥方式が提唱された[25)~27)]。本方式は高水分生もみを水分17～18%の半乾もみに調製してこれを一時貯留し，しかる後，あらためて仕上げ乾燥を行なう方式である。したがって比較的低乾燥速度で乾燥を行なうため良品質の製品もみを得ることができ，さらに収穫時期における労働の平準化を計ることが可能となる。本乾燥方式を確立するために一時貯留中の貯留条件と半乾もみの品質との関係を究明するとともに，安価でしかも半乾もみを安全に貯留することが可能な一時貯留施設の開発が期待されている。

第3節　国内および国外におけるもみの人工乾燥に関する研究の概略

国内におけるもみの人工乾燥に関する研究は，1930年前後に近藤らによって一連の研究が行なわれ，主に作物学的見地から考察がなされた[23)]。もみの人工乾燥に関する本格的研究は1950年代の初期に渡辺らによって行なわれた[49)~52)]。渡辺らは静置式乾燥方式における乾燥速度の上限を規制する主要因として，胴割れ率を取り上げ通風量が十分に多い条件の下においては通風温度を外気温度＋10°C以下に，通風空気の相対湿度を35%以上に規制することを提唱した。1960年代になると，もみの人工乾燥に関する基礎的研究がさかんになり，1960年に居垣[17)]によって乾燥速度と品質とに関する研究結果が，又同年市村ら[18)]によって同様な研究結果が報告された。

1966～1969年にかけて田原迫[41)]，山下[53)]，中馬[6)]，山沢[54)~56)]および細川ら[15)]，によって基礎研究が進められた。テンパリング乾燥方式に関する研究は1964年長戸ら[28)~30)]が先鞭をつけ，もみの人工乾燥における胴割れ粒の発生を抑制する手段としてテンパリング操作が有効であることを報告している。これに続き，垂井は通風条件およびテンパリング時間と乾燥速度および胴割れ率との関係について報告している。1967年以降，伴[1),2),4)]，西山[34)]，佐藤[39)]らによるテンパリング乾燥に関する研究が見受けられるが，いずれも少量の試料を用いて比較的限られた実験条件の下での結果である。1973年には岡崎[36)]らがテンパリング期間中の品質変化に関する知見を述べている。

国外，特に米国におけるもみの人工乾燥に関する研究は，小麦，トウモロコシ，グレンソルガム等の農産物に関する研究と比較してかなり遅れ，1938年ごろから主に基礎研究[3)]を中心に開始された。

テンパリング乾燥方式に関する研究は，我国よりも20年ほど早く開始され，1940年にOXLEY[35)]，およびHOUGEN[9)]らによって報告されている。その後テンパリング乾燥方式に関する研究は乾燥条件とHead-Riceの取得率との関係を中心に進展し，多くの実用的研究結果が報告され[40),42)]，1956～1958年におけるWASSERMANらの研究[11),47),48)]でほぼ完了したと考えられる。1961年からHENDERSON[10)]およびPABIS[37),38)]はもみを含む穀物一般の乾燥理論の解析を行なった。両者が提唱した乾燥理論は現在も厳然とその地位を保っている。最近，国内および国外を問わずさかんに検討されている乾燥理論は両者が提唱した理論の補強もしくはその応用を試みていると言っても過言でない。

1963年以降の研究として，乾燥機の自動運転の基礎資料にすべくMATTHEWS[24)]が行なったもみ水分の自動測定に関する研究および貯蔵乾燥に関する基礎研究[7),8),13),14)]が散見される程度であり研究の主流は専ら穀物の物性に関する研究へと移行しつつある。

第II章　テンパリング乾燥に関する基礎実験

第1節　実験目的および実験方法

A. 実験目的

第I章で述べたごとく，生もみのテンパリング乾燥方式は通風期において比較的高温度・多量の乾燥空気を短時間もみに送り急速乾燥を行なわしめ，テンパリング期において通風期に生じた籾と玄米との水分格差を玄米から籾への水分移行を行なわしめることによって是正し，次の通風期における乾燥速度の増加をはかる乾燥方式である。さらにテンパリング乾燥方式はテンパリング期間中にもみ温度の調整を行なうことにより，胴割れ率の増加および発芽率，光沢，食味の低下等の品質低下を防止しうる合理的な乾燥方式である。しかし，テンパリング期間中，比較的高水分もみを長時間に亘って密封状態に保った場合にはヤケ米の発生，高脂肪酸玄米の発生，精米の炊飯性の低下等，仕上り製品の品質低下を招く可能性がある。本実験はかかる点に鑑み初期水分の異なる試料を用いて，テンパリング期間中における玄米から籾への水分移行量，もみの臭気，胚の活性度，玄米の脂肪酸

度および精米の炊飯特性について調査検討し，合理的なテンパリング時間を設定するための資料を得る目的で実施したものである。

B. 実験方法

1. 実験条件の設定

試料の初期水分（湿量基準含水率を意味し本研究において，今後特に断らないかぎり単に水分として表現する）を 20, 22, 28% 台のそれぞれ 3 段階，通風時間を 1/6, 1/3, 1/2 時間の 3 段階，およびテンパリング時間を 0, 1.5, 4.5, 6.0, 12.0 時間の 6 段階とし，これら各条件を組み合わせて Table 2-1 に示すごとき実験条件を設定した。なお，設定通風温度は一律に 60°C とした。

Table 2-1. Experimental conditions

Initial moisture content (%)	Heating time (hr)	Tempering time (hr) 0.0	1.5	3.0	4.5	6.0	12.0
28.84	1/3	*	*	*	*	*	*
	1/2	*	—	*	*	*	*
22.80	1/6	*	*	*	—	*	*
	1/3	*	*	*	*	*	*
20.12	1/6	*	*	*	*	—	—
	1/2	*	*	*	*	*	*

2. 供試材料の調整

供試材料の初期水分は 28% 台の生もみを室内（平均温度 21.5°C，平均相対湿度 60%）において自然乾燥を行ないつつ，22, 20% 台に調整した。通風乾燥は約 4 kg の試料を，600 mm×600 mm×20 mm の亜鉛引鉄板製トレイ 3 個に張り込み（積み高さ：8 mm），これを 60±0.3°C に温度調整した恒温器（タバイ製作所製：PS-1D）内において，規定時間通風後，直ちに試料をポリエチレン容器（容量：500 cc）内に移して密封し，これを 38±0.8°C の温度範囲に調整した恒温器（タバイ製作所製：KS-2 型）内でテンパリングする方式を採用した。

3. 測定項目および測定方法

テンパリング期間中，適宜試料を採取し，玄米から籾への水分移行量，各種品質を以下に記すごとき方法で測定した[22),27)]。

a. テンパリング期間中の玄米から籾への水分移行量

テンパリング開始時および終了時において，玄米および籾の水分を測定し，玄米から籾への水分移行量を求めた。1 回の測定に際し約 20 gr の試料を採取し，これを 2 分して一方はもみの状態で水分測定を行ない，他は試験用もみ摺り機（佐竹製作所製：THU 型）で玄米と籾とに分離し，それぞれについて水分測定を行なった。なお水分測定法は本研究全般を通じ 105°C，24 時間の炉乾法を採用した。用いた恒温器はいずれもタバイ製作所製の PS-1D および PS-11 型であり，温度変化は 104.4～105.5°C の範囲内であった。秤量は最小読み取り値 1 mg の上皿直示天秤（シーベルヘグナー社製：P 1200 型）を用いて行なった。なお，籾の水分はもみ摺り中等に増減する可能性があるので，本実験において，テンパリング期間中に低下した玄米の水分は全て籾へ移行したものとして補正した。なお，玄米から籾への水分移行量の算出を次式を用いて行なった。

$$W = wh\left(\frac{M_f}{100-M_f} - \frac{M_i}{100-M_i}\right)$$

ここで W＝玄米から籾への水分移行量 (kg/乾もみ 1 トン)
M_f＝テンパリング終了時の籾の水分 (%)
M_i＝テンパリング開始時の籾の水分 (%)
wh＝もみ乾物 1 トン当りの籾の重量 (kg)

なお，供試したもみの乾物 1 トン当りの籾の重量が 196 kg であるから玄米と籾との乾物重量比は，4.1 : 1 である。

b. テンパリング期間中における試料の品質試験

1) もみの臭気

テンパリング終了時に試料の臭気を官能鑑定し，① 異臭なし，② 発酵臭，③ 微かび臭，④ かび臭，⑤ 強かび臭の 5 段階に区分することとした。

2) 胚の活性度

もみの発芽力を調べる方法として発芽試験が一般に行なわれているが，この方法は時間が相当かかることから操作の簡単な，しかも短時間で測定可能な還元法を利用することが提唱されている[31)]。本実験では，試薬として

T. T. C. 試薬 (2, 3, 5-triphenyl-tetrazolium-chloride) を用いる方法を採用した。本方法は，玄米の精粒100粒に，T.T.C. 試薬の0.25% 水溶液を15 mℓ加え，これを入れたシャーレを，25±1°C の範囲内に温度調整した恒温器 (早坂理工製) 内に24時間保持し，胚の赤紅色呈色度を観察して T.Z 値 $\left(\frac{\text{呈色指数}\times\text{呈色粒数}}{\text{供試粒数}}\times 100\right)$ を求めた。

3) 玄米の脂肪酸度

A.A.C.C. 法の簡易じん速法で測定し，玄米乾物100 gr 中の遊離脂肪酸を中和するに要する水酸化カリューム (KOH) の mg 数で表示した。

4) 搗精歩留りおよび精米の炊飯特性

イ) 搗精歩留り

玄米約100 gr を試験用精米機 (ケット科学研究所製：TP-2型) によって2分間搗精した後，1.7 mm 目の篩に残存した精米重量を玄米重量に対するパーセント値として求め，これを搗精歩留りとした。

ロ) 精米の炊飯特性

炊飯特性試験は，米国農務省の DAWSON 等が提唱し，我国の農林省食品総合研究所の竹生等[32),44)~46)] が改良した方法を採用した。すなわち，8 gr の精米を内径40 mm，高さ80 mm の長円筒形の金網籠に入れ，これを蒸留水160 mℓ入りのトールビーカ内に吊し電気炊飯器内で慣行法に従って炊飯を行ない，以下に示す4項目について測定を行なった。

i) 加熱吸水率

炊飯による精米の吸水割合を示すもので次式によって倍数として求めた。

$$\text{加熱吸水率} = \frac{\text{炊飯米の重量 (gr)}}{\text{供試精米の重量 (gr)}}$$

ii) 膨張容積

炊飯米の高さから，次式によってみかけの容積を求めた。膨張容積 $= \pi r^2 h$.

ここに　r＝金網籠の内径 (cm)

　　h＝炊飯米の高さ (cm)

iii) 炊飯液のヨード呈色度

トールビーカ内の炊飯液をヨードで呈色させ，その青色度合を分光光度計 (日立製作所製：101型) を用いて，波長600 mμにおける吸光係数で求めた。

iv) 炊飯液中の溶出固形物量

炊飯液100 mℓ中の固形物の重量を，105°C, 24時間の炉乾法を用いて求めた。

Table 2-2. Constitution of samples

Initial moisture content (%)	Winnowed grain (%)	Damaged grain (%)	Hulling grain (%)	Inert matter (%)
29.00	90.5	7.8	1.3	0.4
27.67	91.0	5.7	1.1	1.7
28.31	90.6	6.7	1.4	1.0
29.72	91.5	6.7	1.1	0.1
28.55	89.9	7.1	1.8	0.2
29.91	92.0	5.6	1.4	0.5
Average : 28.84	90.8	6.6	1.4	0.8

C. 供試材料

供試材料は1974年産の生もみを用いた。産地は石狩当別町で品種は「しおかり」である。収穫は10月7日に自脱型コンバイン (2条刈り) を用いて行なった。収穫した生もみはポリ袋に入れ，速やかに研究室に搬入し，約8 kg ずつビニール袋に小分けして，−0.5～0.5°C の範囲内に温度調整した保蔵庫内に貯蔵し，もみ水分の変化およびもみ品質の低下を防ぎつつ実験に供した。Table 2-2 に供試もみの初期組成および初期水分を示す。1974年の北海道の水稲作柄は良好 (作況指数117%) であり，供試材料は精粒割合が比較的高く，品質良好なもみであることがうかがえる。

第2節　実験結果および考察

A. テンパリング期間中における玄米から稃への水分移行量

テンパリング期間中に玄米から稃へ水分が移行する状態を示す一例として，Fig. 2-1 および Fig. 2-2 を示す。前者は初期水分28.84% の試料に，後者は初期水分20.12% の試料にそれぞれ1/2時間通風を行なった後に

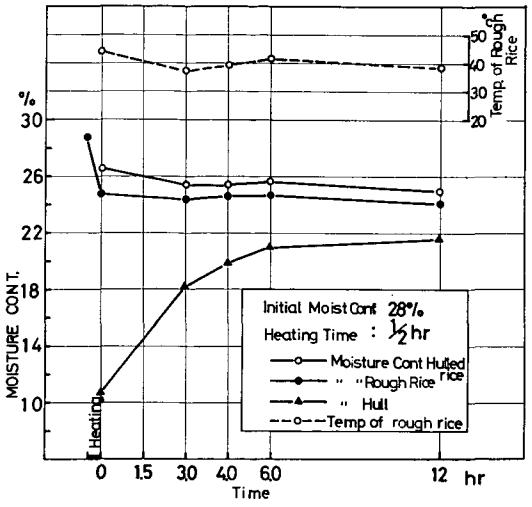

Fig. 2-1. Water transfer from hulled rice to hull during tempering period.

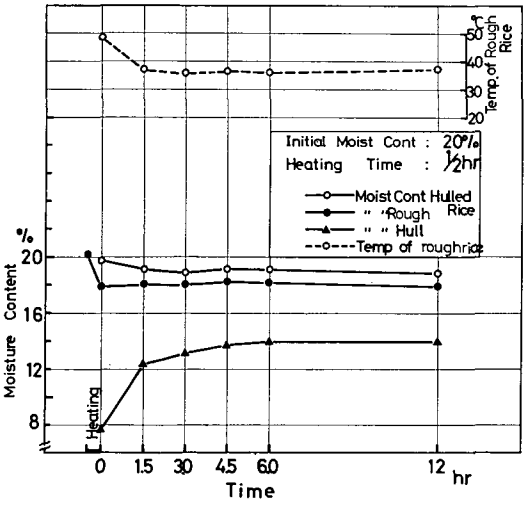

Fig. 2-2. Water transfer from hulled rice to hull during tempering period.

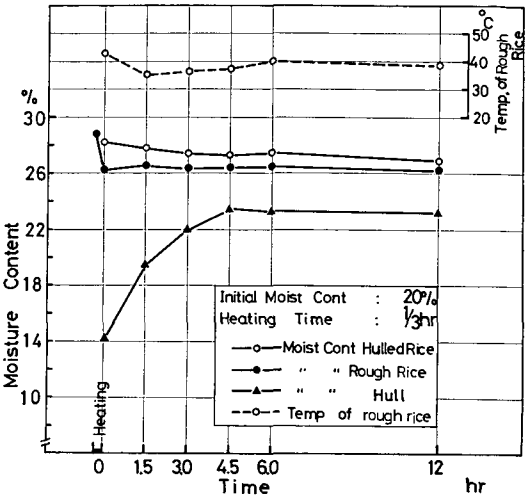

Fig. 2-3. Water transfer from hulled rice to hull during tempering period.

テンパリングを行なった場合の結果である。両図よりテンパリング期間中のもみ水分は，ほぼ一定値を示す一方，稃の水分は玄米からの水分移行によって増加することを知った。稃の水分増加状態はテンパリング期初期が大きく，時間の経過に伴って水分増加率は低下し，初期水分28% 台（テンパリング開始時玄米水分 26.7%）の場合はおおむね 10 時間程度で，又初期水分 20% 台（テンパリング開始時玄米水分 19.6%）の場合は，おおむね 4.5 時間程度でそれぞれ稃の水分はほぼ一定の値を示す。12 時間のテンパリング期間中に増加した稃の水分は初期水分28% 台の場合で 11%，一方初期水分 20% 台の場合で 6.3% を示しており，通風条件が同一の場合テンパリング期間中の水分移行量は初期もみ水分およびテンパリング開始時の玄米水分に影響を受けることを知った。次に初期水分 28% 台の試料に 1/3 時間通風を行なった場合の結果を Fig. 2-3 に示す。本図より稃の水分はテンパリング開始後，約 4.5 時間でほぼ一定値に達すること，およびテンパリング期間中の稃の水分増加は 9.0% であることを知った。これらの値を同一初期水分に 1/2 時間通風を行なった場合に比較すると，稃の水分が一定に達するまでに要する時間は短かく，稃の水分増加量は少ないことを知った。これは主にテンパリング開始時における玄米と稃との水分差の差異に起因するものと考えられる。1/2 時間および 1/3 時間通風における両者の値を比較すると，玄米と稃との水分差は 15.9% および 14.0% でありテンパリング開始時における玄米と稃との水分差が大きい程，稃の水分増加率が飽和に達するまでに要する時間は長くなり又，稃の水分増加量も大きくなることを知った。テンパリング期間中の玄米から稃への水分移行量と試料の初期水分および通風時間との関係を Fig. 2-4 に示す。本図より試料初期水分が高く，通風時間が長いほど水分移行量が多いことを知り，特に試料初期水分が水分移行量に強い影響を及ぼすものであることを知った。玄米から稃へ水分を移行させ通風期における乾燥速度を高めるというテンパリングの効果の一つを十分に発揮するには試料水分が高い，すなわち乾燥の比較的初期であることがうかがえる。試料水分が低下するに従って

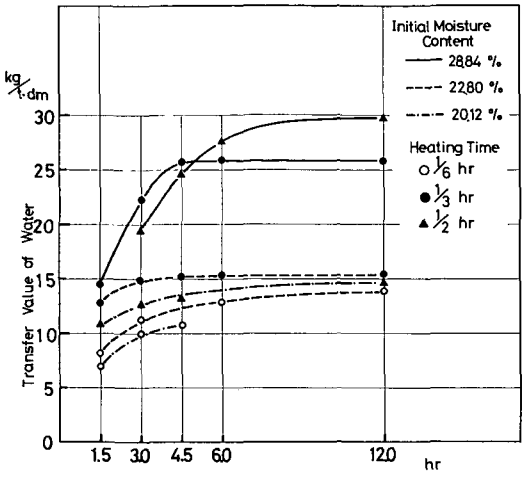

Fig. 2-4. Transfer value of water from hulled rice to hull.

水分移行量は減少し，例えば通風時間 1/3 時間の場合，初期水分 28% 台のもみは 6 時間のテンパリング期間中に 26.0 kg/ton・DM の水分移行が行なわれるのに対し初期水分 22% のもみは 15.2 kg/ton・DM の水分移行が行なわれるにすぎないことを知った。テンパリング期間中の玄米から稃への水分移行状態を数値化する一つの方法として，テンパリング期間中に移行した全水分量に対するテンパリング期間中の各時点における積算水分量のパーセンテージ値を求め図示したものが Fig. 2-5 (A)～(F) である。本図よりテンパリング期間中における移行水分の 50% および 80% が移行するに要するテンパリング時間を求めて表にしたのが Table 2-3 である。移行水分の 80% が移行するに要する時間は試料初期水分および通風時間によって異なり，2.1～4.4 時間の範囲にあった。したがって試料初期水分が高く，通風時間が長い場合には比較的長時間のテンパリングが有効であることを知るが，試料初期水分が低いか，もしくは通風時間が短かい場合はテンパリング効果が比較的短時間に消失することを知った。かかる結果にもとずき，玄米から稃へ移行する水分量を基準にして適切なテンパリング時間を設定せんとすれば，初期もみ水分，通風条件によってそれぞれ対応させることが必要であり，さらに乾燥の経過に対応

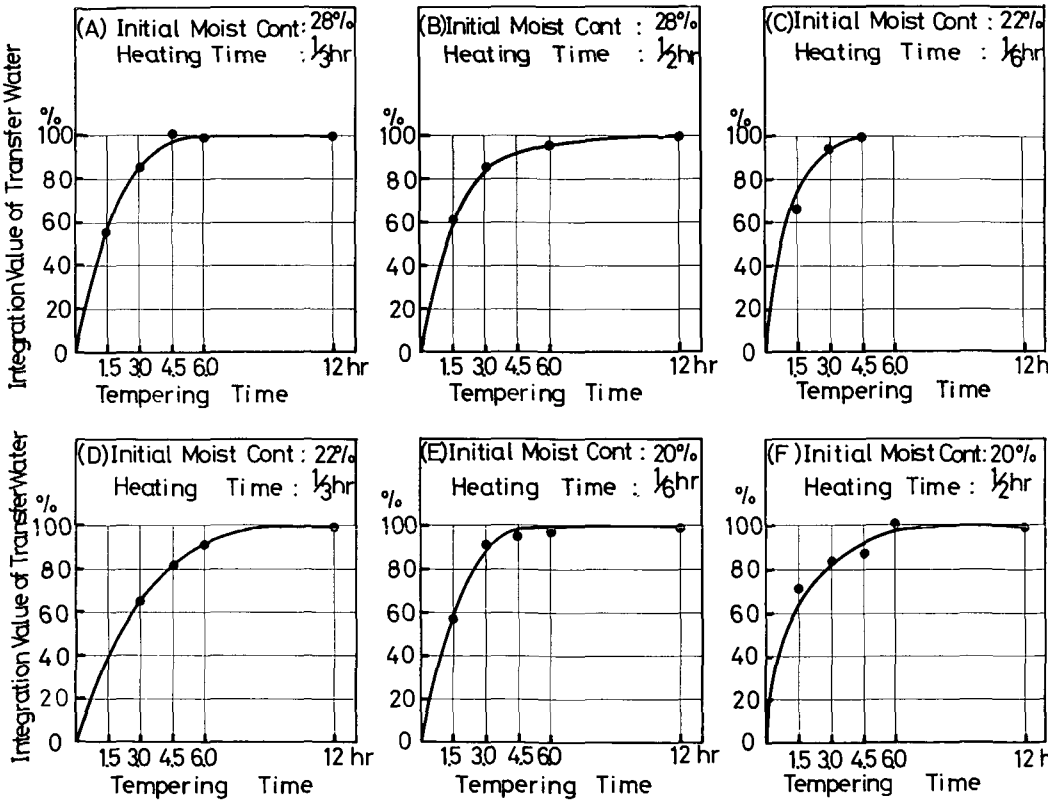

Fig. 2-5. Time of water-transfer from hulled rice to hull.

Table 2-3. Water transfer time

No.	Initial moisture content (%)	Heating time (hr)	50% transfer (hr)	80% transfer (hr)
1	28.84	1/3	1.20	2.60
2		1/2	2.00	4.40
3	22.80	1/6	1.20	2.40
4		1/3	1.30	2.60
5	20.12	1/6	1.00	2.10
6		1/2	0.80	2.60

させて変化させることが合理的であることを知った。いずれにしても適切なテンパリング時間は 2～4.5 時間程度であると考えられる。

B. テンパリング期間中における試料の品質試験結果

1. もみの臭気

まず試料の品質測定法の内，測定器具を用いないで官能による臭気の測定を行なった。測定結果を Fig. 2-6 に示す。試料の異臭は試料の初期水分が高く，しかもテンパリング開始時における試料水分が高いものほど早期に発生することを知った。試料の異臭の程度はいずれも最軽度の「発酵臭」であった。本結果はただ 1 回のテンパリングに関するものであり，実際は初期もみ水分が比較的高い場合テンパリングを 5～6 回施すため，発酵臭はかび臭へと進行することが考えられる。したがってテンパリング開始時における試料水分が 26% 台で，しかももみ温度が 38°C 前後なるテンパリング条件下では，テンパリング時間を 3 時間程度以内に，一方テンパリング開始時試料水分が 21% 台の場合にはテンパリング時間をおおむね 6 時間以内に抑制すべきであると判定される。テンパリング開始時試料水分が 20% 以下の場合には実際の乾燥過程においても異臭発生の懸念はないものと想定できる。なお，臭気の検定には個人差による評価の異いが認められるが，多人数で検定するパネルテストの結果を参考にして熟練を積めば簡単に，しかももみの品質変化を早期に検出できる有効な測定方法であると言える。

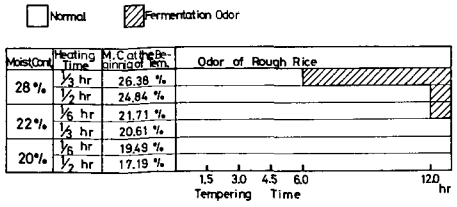

Fig. 2-6. Changes of odor of rough rice.

2. 胚の活性度

Fig. 2-7 (a)～(c) はテンパリング期間中における胚の活性度を示すもので，いずれの実験条件に対しても T.Z 値は 90% 以上を示している。T.Z 値が 80% 以上を示せば胚の活性度は正常とされていることから考察して，テンパリングによる著しい発芽能力の低下はみとめられないことを知った。しかし全体的な傾向として T.Z 値はテンパリング時間の延長に伴ってわずかに低下し，しかもその低下度合は通風時間を増すにしたがい大きくなることを知った。特に通風時間の延長にしたがって T.Z 値が低下する理由として，通風期間中の熱障害に起因する所が大きいものと考えられる。

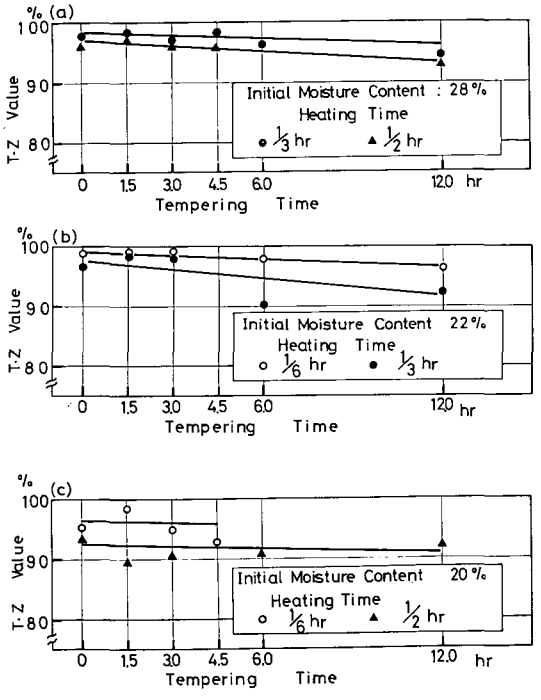

Fig. 2-7. Changes of viability in embryo.

3. 玄米の脂肪酸度

玄米の脂肪酸度の測定結果を Fig. 2-8 (a)～(c) に示す。(a)～(c) 図はそれぞれ初期試料水分が，28%台，22% 台，20% 台の実験結果を示すもので，試料水分が低下するのに伴って玄米の脂肪酸度の増加率は低下し，試料水分が 20% 台になると脂肪酸度の増加率はごくわずかになることを知った。これらを一括して考察すると，テンパリング期間中における玄米の脂肪酸度は，テンパリング時間の経過に伴ってほぼ直線的に増加することを知った。脂肪酸度の増加率は試料の初期水分およびテンパリ

ング開始時試料水分が高いものほど大きい値を示している初期水分28%台の試料を27%程度まで乾減（1/3時間通風の場合）した後，テンパリングを行なった結果，

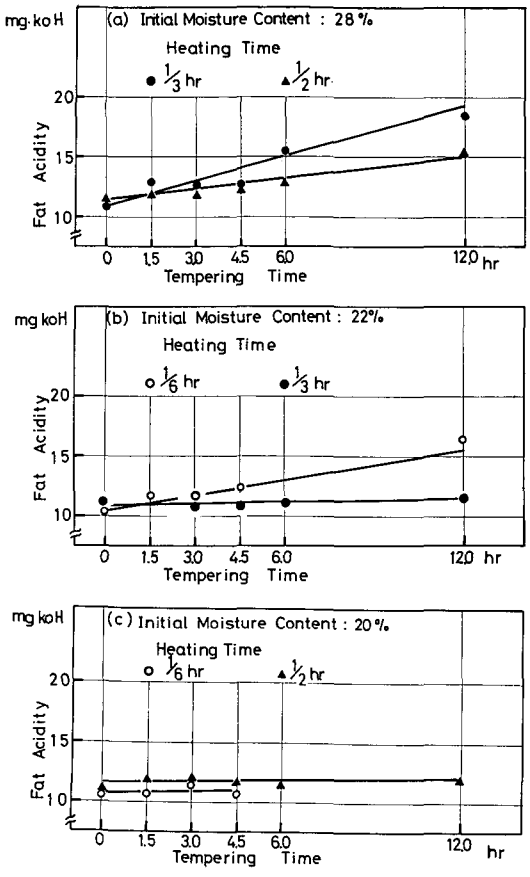

Fig. 2-8. Changes of fat acidity of hulledrice.

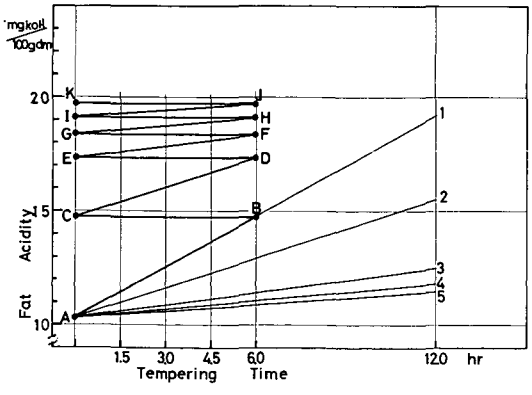

Fig. 2-9. Changes of fat acidity of hulled rice during tempering period.

12時間後に玄米の脂肪酸度はほぼ許容限界値〔玄米の脂肪酸度の許容限界値は20 mgKOH/100 gr・DM（以下20 mg のごとく表示する）と提唱されている〕まで達することを知った。

次にテンパリング乾燥過程中に玄米の脂肪酸度が増加する有様を初期水分28%台の試料について試算してみよう。Fig. 2-9 は，この試料を6回の通風（1回の通風で2%の水分乾減があるものとする）と5回のテンパリング（テンパリング時間を6時間とする）によって乾燥を仕上げる場合について，玄米の脂肪酸度変化を想定して算出した結果を示すものである。なお，図中の1～5で示す直線は，Fig. 2-8 に示したようにテンパリング開始時における試料水分が26%，24%，22%，20%の場合，テンパリング期間中における玄米脂肪酸度の増加状態を示すものである。初期水分28%台の試料は第1回目通風期において26%台に乾減し，第1回目テンパリング期においてA点からB点まで脂肪酸度が増加する。第2回目テンパリング期において24%台の試料中の玄米脂肪酸度はB点を左へ平行移動して求めたC点

Table 2-4. Changes of Fat acidity of hulled rice during drying period

Initial moisture content. (%)	Tempering time (hr)	Fat acidity (mgKOH) 1st	2nd	3rd	4th
82	1.5	11.25	11.95	12.25	12.48
	3.0	12.48	13.75	14.25	14.75
	4.5	13.55	15.51	16.50	17.02
	6.0	14.50	17.50	18.50	19.25
	12.0	17.50	24.50	26.75	28.60
26	1.5	10.75	11.15	11.30	11.35
	3.0	11.55	12.05	12.50	12.75
	4.5	12.13	13.02	13.70	14.02
	6.0	12.78	14.00	14.75	15.30
	12.0	15.50	17.50	19.30	20.50
24	1.5	10.50	10.75	10.85	
	3.0	10.75	11.25	11.50	
	4.5	11.02	11.70	12.04	
	6.0	11.30	12.25	12.85	
	12.0	12.50	14.15	15.40	
22	1.5	10.40	10.50		
	3.0	10.60	10.90		
	4.5	10.85	11.25		
	6.0	11.00	11.55		
	12.0	11.85	12.45		

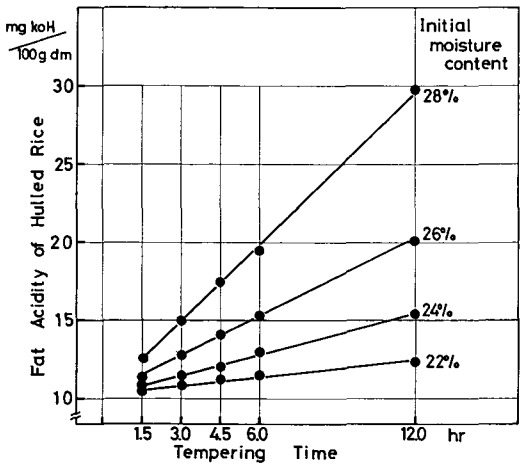

Fig. 2-10. Changes of fat acidity of hulled rice during tempering period.

から直線1に平行な直線 $\overline{CD}$ で示されるごとく増加し，テンパリング終了時の脂肪酸度はD点で示される。以下同様な方法で順次脂肪酸度を求めると乾燥仕上がり時における脂肪酸度はK点で示され，19.5 mg に達することになる。

上述した方法によって各種初期水分の試料を乾燥仕上げた場合，玄米の脂肪酸度変化を試算した結果を Table 2-4 および Fig. 2-10 に示す。これら図表より適切なテンパリング時間を検討してみる。既述したように玄米の脂肪酸度の許容上限値は 20 mg となっているが，試算した乾燥過程中の脂肪酸度増加量には，通風期間中における増加を考慮しておらず，さらに試算に用いた Fig. 2-9 の1～5直線は，テンパリング開始時における脂肪酸度がいずれも 9～10 mg の場合で実際は乾燥の経過に伴って各テンパリング開始時の脂肪酸度は順次増加し，したがって1～5直線の勾配はより大きくなるものと考えられる。これらの理由に加えて乾燥仕上がり玄米の脂肪酸度は，貯蔵期間中にも微増すること等の理由により本実験においては安全側に見積り，玄米脂肪酸度の許容上限値を 15 mg とする。その結果，Fig. 2-10 よりテンパリング時間の許容時間は試料水分が28%，26%，24%台である場合，それぞれ 3, 5.5, 10 時間となり，初期水分22%台については 12 時間以上のテンパリングを行なってもなおかつ脂肪酸度は許容範囲内にあった。これらの結果から考察して乾燥の初期において，比較的高水分もみを長時間にわたってテンパリングすることは好ましくない。これが対応策としては乾燥の初期におけるテンパリング時間を短縮させるかもしくは，可及的に速やかにもみ水分を低下させる乾燥条件を採用することが肝要となろう。

4. 搗精歩留りおよび精米の炊飯特性

搗精歩留り，および精米の炊飯特性を Table 2-5 に一括して示す。まず搗精歩留りは 87.4～92.5% の範囲内にとどまった。比較対照のために，室内において自然乾燥を行なった供試試料の搗精歩留りが 90.4% であることから通風およびテンパリング期間中に極端な品質低下は生じなかったと考えられる。

本実験はテンパリング期を1回にとどめたのでテンパリング期間の長短よりむしろ，通風時間の長短および初期水分の高低が搗精歩留りに強い影響をおよぼしている。実際の乾燥工程は初期もみ水分の高低によっても異なるが，一般に4～6回テンパリングを行なう，したがって，テンパリング時間の長短がもみ温度の高低に影響をおよぼし，もみ温度の上昇が大幅な場合は玄米の胴割れ率が増大し，これに伴って搗精歩留りは低下するものと考えられる。

次に精米の炊飯試験の結果であるが，加熱吸水率，膨脹容積，ヨード呈色度，および溶出固形物についていずれもテンパリング時間の長短による明確な有意差を見い出すことができなかった。ただし，加熱吸水率は Fig. 2-11 にその一例を示すごとく，テンパリング時間の経過に伴って低下する傾向を示している。これは，すなわち比較的高水分試料を長時間密封した状態でテンパリングした場合，胚芽が熱障害を受けたことに起因するものと考えられる。炊飯液中の溶出固形分は試料水分が高く，通風時間が長い場合高値を示している。これは高水分加熱を受けた精米の一般的特徴と一致している。

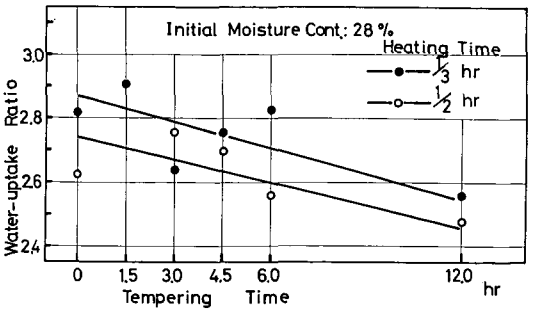

Fig. 2-11. Water uptake ratio of polished rice

以上，搗精試験および精米の炊飯試験の結果から適切なテンパリング時間を一律に規定することはできないが，試料水分が比較的高い (26% 以上) 場合には6時間

Table 2-5. Milling yield and Boiling characteristcs of polished rice

No.	Initial moisture content (%)	Heating time (hr)	Tempering time (hr)	Moist. cont. of polished rice. (%)	Milling yield (%)	Water up-take ratio	Volumetric swelling (cm^3)	Gruel-Iodin blue value
1	28.84	1/3	0.0	14.8	90.1	2.82	33.27	0.146
2			1.5	14.7	89.7	2.91	34.81	0.180
3			3.0	14.7	91.1	2.64	32.61	0.147
4			4.5	15.3	89.9	2.76	34.37	0.176
5			6.0	15.6	89.7	2.83	34.56	0.182
6			12.0	15.4	90.7	2.56	32.70	0.116
7		1/2	0.0	14.7	91.0	2.63	35.94	0.168
8			1.5	15.0	90.5	2.76	30.02	0.170
9			3.0	15.1	90.8	2.67	32.87	0.153
10			4.5	14.8	90.3	2.70	33.43	0.150
11			6.0	1.84	90.3	2.70	34.09	0.125
12			12.0	15.2	90.7	2.48	31.86	0.159
13	28.80	1/6	0.0	15.4	89.9	2.72	33.48	0.134
14			1.5	15.0	92.5	2.53	31.23	0.102
15			3.0	15.0	90.9	2.54	32.48	0.125
16			6.0	14.0	90.4	2.53	33.05	0.132
17			12.0	14.0	89.8	2.51	30.88	0.121
18		1/3	0.0	14.1	89.6	2.58	30.28	0.135
19			1.5	13.4	90.5	2.69	33.11	0.176
20			3.0	14.1	90.7	2.47	32.20	0.146
21			4.5	14.0	90.4	2.47	31.51	0.100
22			6.0	14.2	90.8	2.59	30.97	0.123
23			12.0	14.4	89.8	2.65	31.48	0.128
24	20.12	1/6	0.0	15.0	88.4	2.78	33.43	0.148
25			1.5	16.0	90.7	2.92	34.71	0.144
26			3.0	15.4	90.7	2.62	32.20	0.110
27			4.5	14.8	88.3	3.11	34.47	0.182
28		1/2	0.0	14.8	88.0	2.82	32.99	0.149
29			1.5	14.6	88.6	2.78	32.36	0.120
30			3.0	14.9	89.8	2.76	33.83	0.143
31			4.5	15.7	88.3	2.80	33.62	0.136
32			6.0	15.3	88.5	2.66	33.52	0.140
33			12.0	14.8	87.4	2.76	34.24	0.134
	Natural drying			15.2	90.4	2.82	31.30	0.147

以上の長時間テンパリングを行なうと精米の品質低下をまねく可能性が十分あることを知った。

第3節 要 約

本章では適切なテンパリング時間を設定するに際しての基礎資料を得る目的で，各種の初期水分を有する試料を用いてテンパリング期間中における玄米から稃への水分移行量の測定および品質試験を行なった結果，以下に述べるごとき事項を確認した。

1. テンパリング期間中の玄米から稃への水分移行速度はテンパリング期の初期が速く，テンパリング時間の経過に伴って低下することを知った。テンパリング期間

中の水分移行状態を数値化するためテンパリング期間中に移行した水分量の50%および80%が移行する際に要する時間を求めた。今回の実験条件では80%移行所要時間は2.1～4.4時間であり，試料初期水分が高く通風時間が長い場合は長時間要することを知った。

2. テンパリング期間中の試料の品質測定を行なった結果，試料水分が26%台の場合，テンパリング開始後6時間の時点で発酵臭が生ずることを知った。玄米の脂肪酸度は試料水分が高いほど増加割合が大きいことを知った。試料水分が20%以下になると脂肪酸度の増加は非常に緩慢であった。本実験で得られた資料を参考にし，初期水分28%台，26%台，24%台のもみを4～6回のテンパリングを行なって乾燥仕上上げる場合，玄米の脂肪酸度の許容上限値を15 mgとすると，テンパリング時間の上限値はそれぞれ3, 5.5, 10時間となることを知った。搗精試験および炊飯試験を行なった結果，搗精歩留りはテンパリング時間の長短にはほぼ無関係であり，むしろ初期試料水分の高低および通風時間の長短に影響されることを知った。炊飯試験項目の内，加熱吸水率および溶出固形物は，比較的高水分試料を長時間にわたってテンパリングを行なうと，いずれも高水分加熱による品質低下と同様の傾向を示すことを知った。

以上の事項を総合的に検討すると適切なテンパリング時間は通風条件および乾燥経過に対応させて定めることが望ましい。しかし，乾燥経過に対応させて乾燥過程中にテンパリング時間を変化させることは技術的に，又，運営上非常に困難であると考えられる。したがって一律にテンパリング時間を設定するものとすれば，その範囲は2～4.5時間程度と判定せられる。ただし，試料水分が高い場合はテンパリング時間を短かくするか，又は第1回目の通風期において可及的速やかに試料水分を低下させるように心がけなければならない。

第III章 テンパリング時間を3時間に規定した回分式テンパリング乾燥実験

第1節 実験目的および実験方法

A. 実験目的

第II章においてテンパリング期間中の玄米から稃への水分移行量および品質変化を知る目的で行なった実験結果について検討を加え，適切なテンパリング時間の設定を試みた。その結果，玄米から稃への水分移行量およびもみ品質はもみの初期水分および通風条件に影響を受けるため，テンパリング時間を一律に普遍的に規定することは困難であるが，その範囲はほぼ2.0～4.5時間であると断定された。本章においては第II章で述べた実験結果を参考にして，テンパリング時間を一律3時間とし通風条件，すなわち通風温度，通風量，通風時間と乾燥速度および品質との関係について検討を加えることにする。実験を行なう際，本研究の目的が実用のテンパリング乾燥機の設計およびその使用上の参考資料を得ることにあることを考慮して，広範囲な通風条件の下で比較的多量の試料を用いて実験を実施した。

B. 実験装置の概要

Fig. 3-1に供試実験装置を示す。装置の主要部はファン①，冷凍装置②，水スプレー装置③，蒸気スプレー装置④，スチームラジェータ⑤，および乾燥室本体となる風洞⑥よりなる。通風空気温度はスチームラジェータおよび冷凍装置によって−20～+120°Cの範囲内で任意に調節することが可能である。通風空気の湿度はダクトによって屋外に通じている吸気ダクト⑦および排気ダクト孔⑧のダンパーの開閉およびスプレー装置の使用によって調整することが可能である。なお本装置において通風空気の絶対湿度を外気の絶対湿度以下に低下させるには別に除湿装置を付設する必要がある。通風空気の温湿度調節は温湿度制御装置（5 S/W 5027，富士電機製造株式会社製）によって自動制御し，プログラム設定器の使用により自動運転も可能である。しかし自動運転した場合設定通風温度と通風温度との偏差が±6.5% F.S.程度生じ，要求される通風温度の精度を満足させることができなかった。したがって本実験において通風空気の温度調節は専ら手動で行ない設定値とほぼ等しい通風温度に調整した。実験装置内の⑥に示す位置にFig. 3-2に示す竪型試料充填槽を取りつけた。充填槽は内径400 mm，高さ200 mmのステンレス円筒①3個から成り，各円筒の底部には金網が張られ，最大60 kgの生もみを充填することができる。実験に際して風洞内の循環空気の一部をダクトによって下部空気室に導入し，整流した

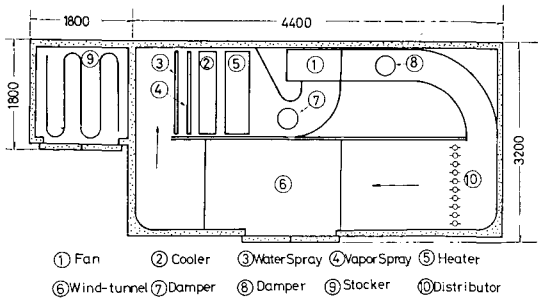

Fig. 3-1. Experimental apparatus.

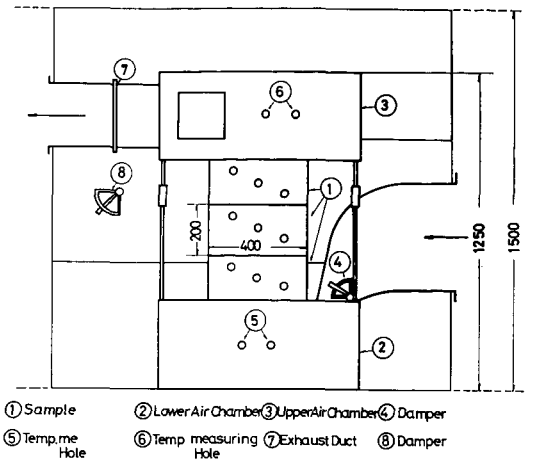

Fig. 3-2. Experimental apparatus.

後，充填槽内の試料層を通過させ，上部空気室 ③ を経て再び風洞内へ排出させる。上部空気室は試料層に対する通風の均一化を計るとともに，排気の温湿度を測定するために設けたものである。試料に対する通風量の調節は主として入気導風路ダンパー ④ およびバイパスダンパー ⑧ の開閉で行ない，その微調節は排気導風路ダンパー ⑦ の併用によって行なった。なお本実験装置には，室内温度を −5°C まで低下させることのできる試料保蔵庫 (Fig. 3-1 ⑨) が付設されており，最大 2.5 m^3 の試料を貯蔵することができる。

C. 実験方法

1. 実験条件の設定

通風温度，通風量および通風時間を以下のごとく選択し，これらを適宜組み合わせて 56 種類の実験条件を設定した。

通風温度：40, 45, 50, 55, 60, 65, 70, 75, 80 (°C)
通 風 量：1, 1.5, 2, 3, 4 (m^3/秒・もみ1トン)
通風時間：3, 2, 1, 1/2, 1/4, 1/6, 1/8 (時間)

なお，テンパリングは蓋付ポリエチレン容器 (容量 28 ℓ) 内において行なった。

2. 測定項目および測定方法

a. 試料水分

試料の初期水分は，赤外線水分計 (ケット科学研究所製：F-1 型) によって測定し，これを 105°C，24 時間の炉乾法によって補正した。これら両測定法による水分値の間に 0.2% 以上の差異が生じた場合には炉乾法による値を採用した。乾燥過程中の試料水分測定は実験開始に先立って供試試料中の一部を水分検定用として直示天秤 (シーベルヘグナー社製：B5GD 型，感量 0.1 mg) で秤量し，これを真鍮製金網で作った容量約 230 cm^3 の容器に入れて試料充填槽内の残余の試料中 (試料の積み高さ約 11 cm) に埋めておき，この検定用試料を適時容器ごと取り出して手早く秤量し，通風並びにテンパリング両過程における試料水分を測定した。なお試料水分が 15% になった時点をもって乾燥の終期と定めて乾燥実験を打切った。乾燥速度は試料の通風時間 1 時間当りの乾減水分値で表わし，これを乾減率と称する。

b. 温湿度および通風量

入気の温度および湿度は白金抵抗体温度計 (北辰電機製：Pt：50 Ω) を乾湿球式温湿度計の感温部として入気導風路内において測定した。通風期およびテンパリング期のもみ温度はサーミスタ温度計 (芝浦電子製：NBT 型) を感温部として，試料層内にこれを挿入して測定することとし，いずれも 6 打点式記録計 (富士電気製：K-ERS-615 型) に自記させた。ただし，本測定法によれば通風期のもみ温度は，もみ自体ともみの周囲を通過する空気とが混在する場の平均温度であり，もみ自体の温度とは多少異なる値を示す。

排気の温湿度は水銀温度計を感温部にした乾湿球式温湿度計を用いて上部空気室において測定した。通風量は試料充填槽中段に熱線風速計 (日本科学工業製：アネモマスタ AM-11/-11-1111 型) を挿入して風速を測定し，温度補正を行なって 20°C における通風量に換算して求めた。本研究で用いる通風量は m^3/秒・トン なる単位を用いて表わすことにし，以下単に，m^3/s・t と記す。

c. 胴割れ率

割れの測定は乾燥過程中および乾燥仕上がり試料については乾燥仕上がり直後，12 時間後，24 時間後および 48 時間後にサンプリングを行ない，手むきおよび試験用もみ摺機 (佐竹製作所：THU 型) を併用して脱稃し透視器を用いて測定した。さらに本実験において X 線利用の胴割れ測定装置 (日本ソフテックス社製：EMB 型) を用いてもみの X 線写真を撮影し胴割れの検定を行なったが，測定値が上記の玄米検定と完全には符合しないこと，および写真検定にむしろ時間と手間とを要することなどの理由によって X 線利用による測定結果は単なる参考値に留めることにした。胴割れの判定基準は農産物規格規程に準ずることとし，規格規程で被害粒と判定される程度の胴割れ粒以外に，軽微なき裂も調べこれを軽胴割れ粒とした。なお以後，特に断らない限り規格規程で被害粒と判定される程度の胴割れ粒をもって胴割れ率を算定することとした。

d. 発 芽 率

発芽試験は，乾燥仕上がり後2～4カ月後に慣行法にしたがって100粒のもみを内径120 mmのシャーレに置床し，32±1°Cの範囲内に温度制御された恒温器内で発芽せしめて，発芽勢および発芽率を求めた。

e. 玄米および精米の光沢

乾燥仕上がりもみを試験用もみ摺り機および試験用小型精米機（ケット科学研究所製：TP-2型）を用いてもみ摺りおよび搗精を行ない，玄米，精米の光沢を肉眼で検定し自然乾燥米と比較対照した。

D. 供 試 試 料

供試試料の品種を選定する際，① 早生，中生晩生の各品種を網羅する。② 奨励品種として作付普及度が高いもの，あるいは向上の傾向を示しているもの。③ 従来，比較的胴割れ多発といわれている品種と，比較的胴割れの少ない品種とを組み合わせる。以上の諸条件を勘案し{ただし実験実施時点（1966年）において}，以下4品種を供試試料として採用した。

イ） しおかり（早生種）： 品種固定年度は浅いが北海道において広い作付面積を示している。

ロ） 新雪，ささほなみ（中生種）： 何れも安定した作付面積を保持しているが品質が比較的劣るといわれている。

ハ） ほうりゅう（晩生種）： 品種的にすぐれ，今後，安定した作付が期待されている。以上4品種につき，1966年産；岩見沢市金子産のもみを供試した。

供試もみは可及的に高水分のものを入手するため，収穫は手刈りで行ない，圃場において1～2時間地干しした後，直ちに脱穀してこれを研究室に搬入した。搬入した試料は約8 kgずつ小分けしてビニール袋に収め，0±0.5°Cに温度調整した保蔵庫内に貯蔵して実験に供した。

Table 3-1. Consitution and initial moisture content of samples

Variety	Winnowed grain (%)	Empty grain (%)	Green kerneled (%)	Molded grain (%)	Moisture content (%)
SHIOKARI	69.4	2.0	17.3	11.3	29.82
SHINSETSU	70.0	9.3	10.6	10.4	32.95
SASAHONAMI	11.3	10.3	16.7	61.7	29.20
HOHRYU	59.3	10.0	17.7	13.0	28.00

供試試料は冷害の影響を受け，さらに生脱穀時の選別がやや不良であったので実験に先立って唐箕で夾雑物をできるかぎり取り除いた。Table 3-1に風選後の供試試料の組成および初期水分を示す。いずれの試料も30%前後の初期水分を示しているが，実験期間中（10月4日～11月28日）における水分値の変化および品質の低下はみとめられなかった。

第2節 実験結果および考察

A. 通風条件が乾減率におよぼす影響

1. 乾燥過程における実測例

Fg. 3-3は種々の通風条件中，通風温度60°C，通風量1.5 m³/s.t，通風時間1/4時間なる組み合わせで行なった実験の乾燥過程におけるもみ水分およびもみ温度の経過を示すものである。通風温度の実測値は平均60.2°C（最低58.2°C，最高63.5°C）であった。なお，本実験を含めた実験期間中における通風空気の絶対湿度は平均0.0141 kg/kg′（最低0.0138 kg/kg′，最高0.0143 kg/kg′）を示し，ほぼ安定していたので通風空気の絶対湿度の調整は行なわなかった。Fig. 3-3に示すごとく，初期水分29.2%のもみは通風期を7回繰返すことによって水分15%まで乾燥し，各通風期における乾減水分は，第2回目通風期が最大で第1回目通風期がこれに続き，以下第3，4回目通風期と順次通風回数を重ねるにしたがって減少することを知った。すなわち，テンパリング乾燥方式といえども連続通風乾燥方式と同様に減率乾燥の様相を呈する

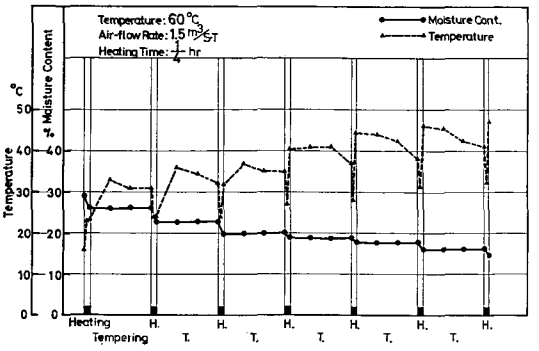

Fig. 3-3. Drying Process.

ことを知った。第1回目の通風期における乾減水分が少ない理由として，もみ初期温度が比較的低いため (16°C)，通風の熱エネルギの一部がもみ温度の上昇のために消費されたことをあげることができる。ここで本実験において総乾減水分値は，29.2−15.0=14.2% であり，積算総通風時間は 1/4 時間×7=1.75 時間であるので通風時間1時間当りの乾減率は 14.2%/1.75 時間=8.11%/時間 となる。

乾燥過程中のもみ温度の経過を見ると，通風開始時に 16.0°C であったもみ温度は，第1回目の通風期終了時に 23.5°C を示した。しかし，これに続く第1回目のテンパリング期におけるもみ温度はいずれも第1回目の通風期終了時のもみ温度よりも高い値を示した。かかる現象は第3回目通風期およびテンパリング期まで続いた。この理由は以下のごとく考察できる。すなわち，もみ水分が比較的高く，しかも通風量が少なく，通風時間が短かい場合，もみ温度測定個所（もみ層のほぼ中央）を通過する通風空気は，もみ層下部（入気側）の試料から蒸発した水分によってほぼ飽和状態となり，さらに蒸発の潜熱をうばわれてその温度が低下する。一方，もみ層下部におけるもみ温度は乾燥の進行に伴って上昇する。このようにしてもみ層下部ともみ温度測定個所におけるもみ温度の差が次第に大きくなり，もみ温度測定個所におけるもみ温度はもみ層の平均温度よりも低い温度を示す。したがって，以後通風期終了時におけるもみ温度として，これに続くテンパリング期のテンパリング開始時におけるもみ温度を採用することとした。第2回目通風期以降，通風期のもみ温度は通風の開始とともに一時的に低下し，通風時間の経過とともに再び上昇する傾向を示した。通風期にもみ温度が低下する理由として既述したごとく水分蒸発の際，蒸発の潜熱をもみおよび通風空気からうばうことをあげることができる。したがって，乾燥の進行に伴って水分の蒸発量が減少しはじめると通風期におけるもみの温度低下が鈍り，通風の熱エネルギがもみ温度の上昇に消費されることによって，通風期におけるもみ温度はしだいに上昇し，乾燥終了時におけるもみ温度は 47°C を示した。

次に通風温度 60°C，通風量 3 m³/s.t，通風時間 1/4 時間の場合の乾燥経過を Fig. 3-4 に示す。本実験においては初期水分 32.5% のもみが，通風期を4回繰返すことによって 16.25% まで乾燥し，各通風期における乾減水分は Fig. 3-3 に示した実験結果と同様に，第2回目通風期が最も多く，以下第1，第3，第4回目通風期の順序であった。本実験において，乾燥終了時のもみ水分が 16.25% を示していたので，もみ水分が 15.00% まで乾燥するに要する時間を乾燥曲線から外挿法によって求めて乾減率を算出すると 13.70%/hr であった。この値は既述した通風温度 60°C，通風量 1.5 m³/s.t，通風時間 1/4 時間の下で実施した実験の結果と比較すると約 1.66 倍に相当することを知った。

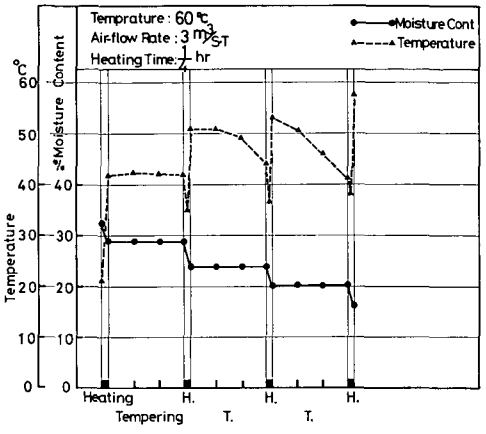

Fig. 3-4. Drying Process.

もみ温度の経過は，通風開始時に 21.5°C であったものが，通風期を重ねるに伴い上昇して乾燥打切り時には 58°C を示した。なお本実験においては Fig. 3-3 に示したごとき通風期のもみ温度と，これに続くテンパリング期のもみ温度とが合致しない現象はみとめられなかった。これは通風量が比較的多いことによるものとみなされる。

2. 通風条件と乾減率との関係

前項で述べた方法を用いて，各通風条件下における乾減率を求めて，通風条件と乾減率との関係について検討を加えることにする。Fig. 3-5 は通風量を 1 m³/s.t，と

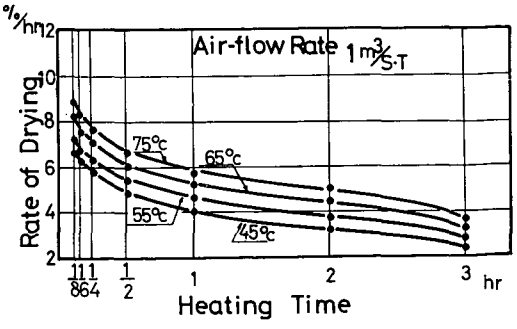

Fig. 3-5. Relation between heating condition and rate of drying.

した場合の通風時間と乾減率との関係を通風温度をパラメータとして示したものである。乾減率は通風温度を高めて通風時間を短縮すると増大することを知った。テンパリング乾燥方式においては，特に通風時間の短縮が乾減率の増大に効果的であり，例えば，通風時間1時間，通風温度45°Cにおける乾減率は4.0%/hrであるが，同一通風温度に対し，通風時間を1/4時間に短縮すると乾減率は5.8%/hrまで増大する。今，通風時間を1時間に固定し，通風温度を高めて乾減率を5.8%/hrまで増大させるには通風温度を75°C程度まで高める必要がある。しかし比較的長時間に亘り通風温度を高めて乾減率を増大させた場合，胴割れ率の増大などの品質低下を招くおそれがあるので乾減率を増大させる合理的な方策の一つとして通風時間の短縮が効果的であると考えられる。

Fig. 3-6～Fig. 3-8は通風量がそれぞれ2, 3, 4 m³/s.tにおける通風条件と乾減率との関係を示すものである。通風時間および通風温度と乾減率との関係は，通風量1 m³/s.tの場合と同様の傾向を示しており，通風量の増

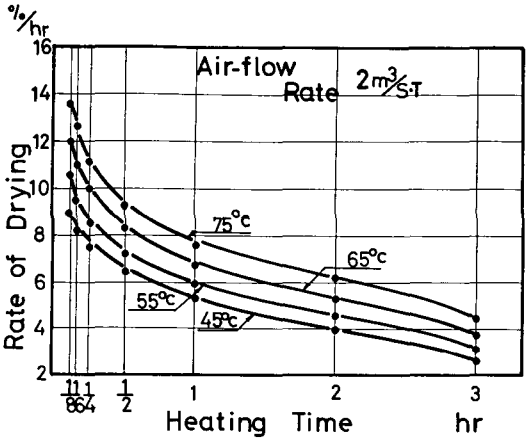

Fig. 3-6. Relation between heating conditions and rate of drying.

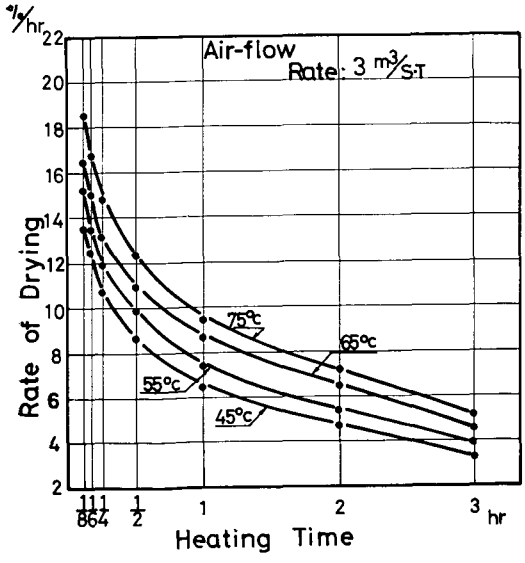

Fig. 3-7. Relation between heating conditions and rate of drying.

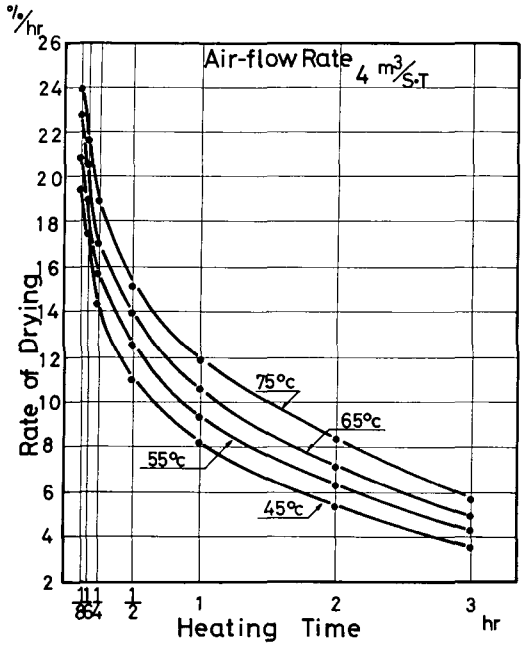

Fig. 3-8. Relation between heating conditions and rate of drying.

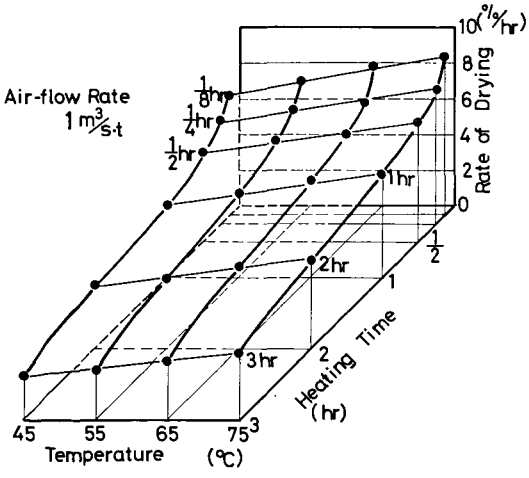

Fig. 3-9. Relation between heating conditions and rate of drying.

大と共に乾減率は増大し，特に通風量が多い場合，通風時間の短縮による乾減率の増大が著しいことを知った。

Fig. 3-9～Fig. 3-12 は以上述べた実験結果によって通風量別に通風温度および通風時間と乾減率との関係を一括して示したものである。さらに本実験から求めた通風条件と乾減率との関係を実験式として表わすと次式のごとくなる。

(ア) $40 \leqq T \leqq 60$ (°C), $1 \leqq A \leqq 4$ (m³/s.t), $1/8 \leqq H \leqq 1/4$ (hr) の場合

$$D = 0.118 e^{-1.5H} \cdot T \cdot e^{(-0.003e^{-1.5H} \cdot T - 0.55H + 0.56)A}$$

(イ) $40 \leqq T \leqq 60$ (°C), $1 \leqq A \leqq 4$ (m³/s.t), $1/4 \leqq H \leqq 3$ (hr)

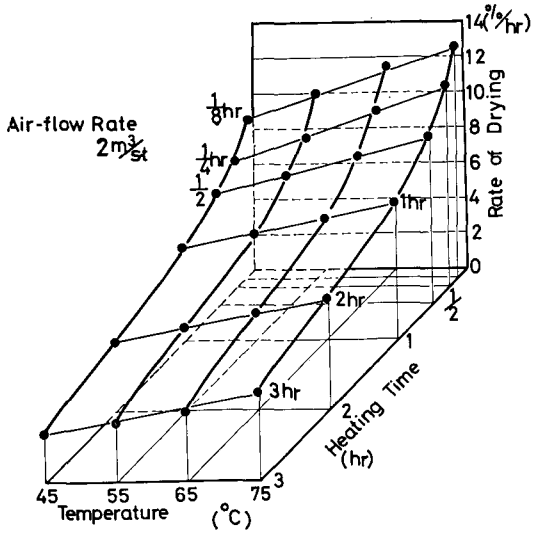

Fig. 3-10. Relation between heating conditions and rate of drying.

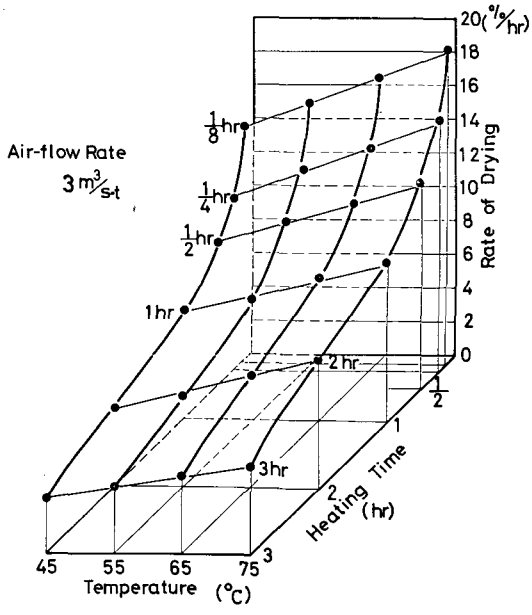

Fig. 3-11. Relation between heating conditions and rate of drying.

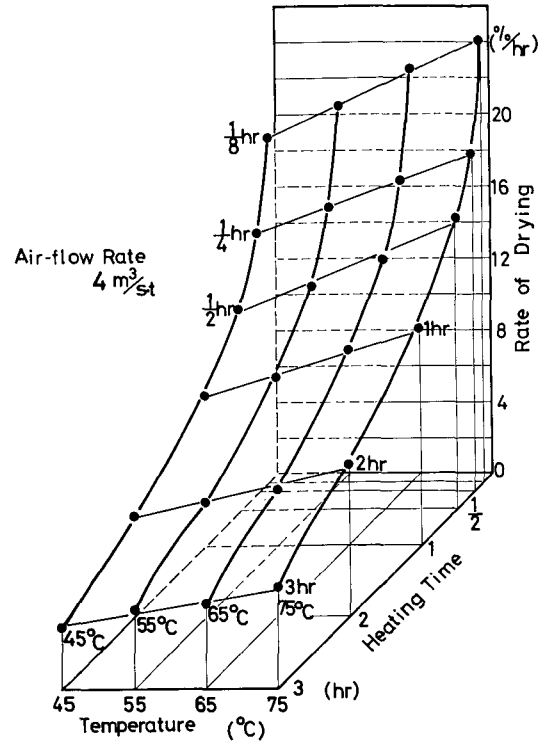

Fig. 3-12. Relation between heating conditions and rate of cracking.

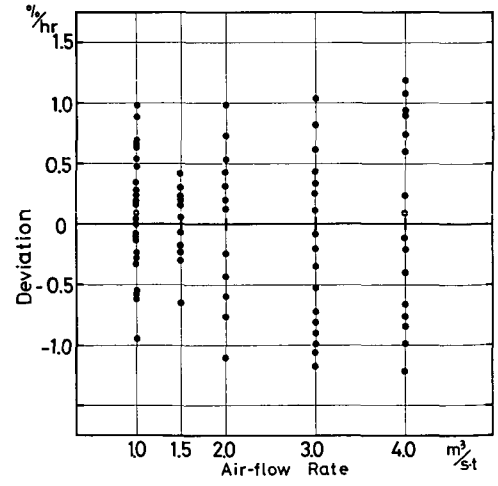

Fig. 3-13. *Precision of experimental formula.*

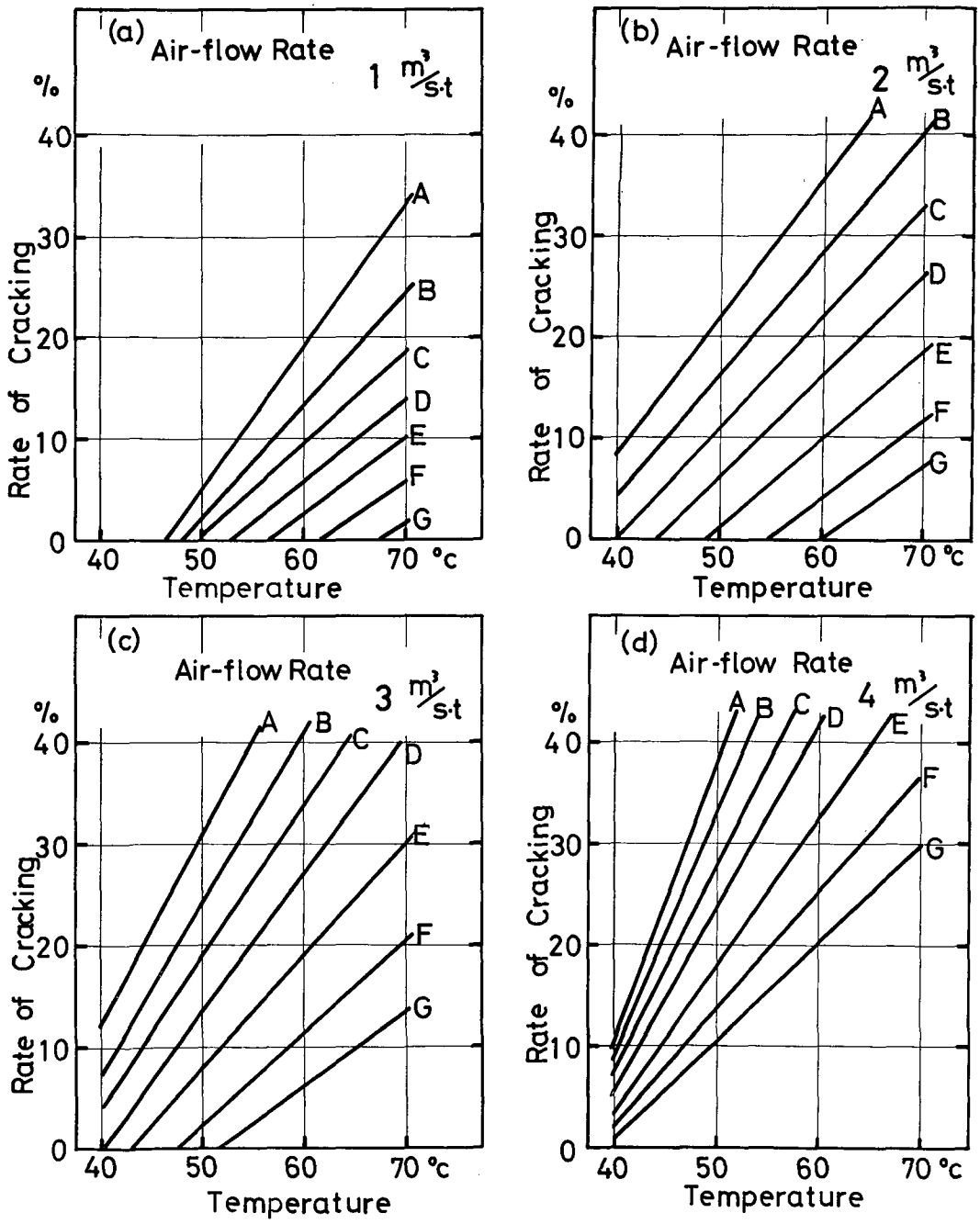

Fig. 3-14. Relation between heating conditions and rate of cracking.

の場合

$$D=(0.07e^{-1.7H}\cdot T+4H+4D)\,e^{(0.26H-0.25A)}$$

ここに　D = 乾減率 (%/hr)
　　T = 通風温度 (℃)
　　H = 通風時間 (hr)
　　A = 通風量 (m^3/s.t)

これらの式によって算定される乾減率と実測した乾減率との偏差を Fig. 3-13 に示す。最大偏差は +1.2%/hr, 偏差の平均値および標準偏差はそれぞれ, −0.88%/hr, 0.62%/hr 程度であることを知った。上式の乾減率 (D), 通風温度 (T), 通風量 (A), 通風時間 (H) の相互関係を検討すると通風時間を短縮し, 通風温度を高め, 通風量を増大すると乾減率は増大する。しかし, 通風時間を極端に短縮させると通風温度を高め, 通風量を大幅に増大させないかぎり, もみに対して水分蒸発に必要な熱エネルギを十分供給することが不可能になり, 却って乾減率を低下させることになる。又, 通風時間を短縮させると通風時間当りの乾減率は増大するが, 乾燥仕上がりまでに要する通風回数が増加し, したがってテンパリング期間を含めた総乾燥時間が延長し, 乾燥作業を円滑に実施することが困難になる。さらに通風時間を短縮するには単位時間当りに乾燥機を通過, もしくは循環するもみ量を増す必要があり, したがって各種搬送装置の搬送能力を増加する措置を講じなければならない。

通風量の増大は送風機の大型化をまねき, 固定経費および運転経費の増大を免れない。さらに既述したごとく通風温度の上昇および通風量の増大は品質の低下をまねく危険性を包蔵しているので乾減率の増大を計る手段として通風時間を短縮し, 通風温度を高め, 通風量を増大する場合には, これら3者間に自ずから相関連する限度がある。

本実験で試みた通風時間の最短時間は 1/8 時間であるが, 既述したごとく, 各制限要素を勘察すると通風時間の適当な範囲は実用上 1/6〜1/3 時間程度であると判定される。なおこれに対する適切な通風温度および通風量の組み合わせは, 後述する如く品質との関係を十分検討して決定しなければならない。

B. 通風条件が品質におよぼす影響

1. 胴割れ率

a. 通風条件と胴割れ率との関係

通風条件と乾燥仕上がり直後の胴割れ率との関係を Fig. 3-14 の (a)〜(d) に示す。図中の A〜G は通風時間がそれぞれ 3, 2, 1, 1/2, 1/4, 1/6, 1/8 時間であることを示している。本実験において4品種のもみを用いたが, 胴割れ率に関して特に品種間の差異は認められなかったので図には品種の区別を無視して示すことにした。胴割れ率は通風量を増し, 通風温度を上げ, 通風時間を延長する程増大する傾向を示している。従来, 連続通風乾燥では, 胴割れ発生の原因の1つとして高温加熱の影響が挙げられるが, テンパリング乾燥においてもこの影響をみとめることができた。ただしテンパリング乾燥にあっては, 通風時間を短縮することにより, かなり高い通風温度でも胴割れ率を抑制することが可能であることを知った。今, 通風量が 1 m^3/s.t の場合を例にとり通風時間をそれぞれ, 3, 2, 1, 1/2, 1/4, 1/6, 1/8 時間として, これらの時間に対応し, 胴割れの発生を抑制し得るとみなされる通風温度の上限を求め, これらを Table 3-2 に示した。通風量を 2, 3, 4 m^3/s.t と増加させると通風温度の上昇による胴割れ率の増加割合が急増することを知った。すなわち, 大風量の下では, テンパリング乾燥といえども通風時間の短縮と併わせて通風温度の低下をも相関連して配慮しなければならない。Fig. 3-15〜Fig. 3-18 は通風量別に通風温度および通風時間と胴割れ率との関係を一括して示したものである。これらの図より

Table 3-2. Upper limit temperatuer for non-cracking

Heating time (hr)	3	2	1	1/2	1/4	1/6	1/8
Temperature (℃)	47	48	50	53	57	62	67

(airflow rate: 1m^3/s.t)

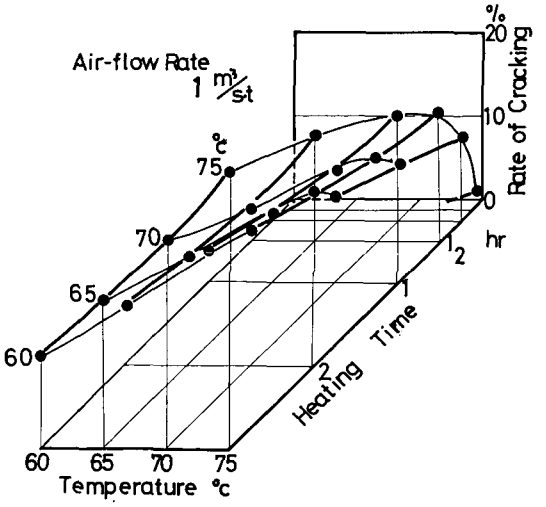

Fig. 3-15. Relation between heating conditions and rate of cracking.

通風量別に胴割れ率をパラメータとして，通風温度と通風時間との関係を示したのが，Fig. 3-19 (a), (b) および Fig. 3-20 (a), (b) である。これらの諸図を検討することによって胴割れの発生を防ぐための適切な通風条件を設定することができる。今，通風時間を 1/8～1/2 時間と想定し，胴割れ率を 0% にする通風条件の組み合わせを求めると通風量 1 m^3/s.t の場合，通風温度は 67～53°C，同様に通風量 2 m^3/s.t の場合，55～47°C，通風量 3 m^3/s.t の場合，45～41°C となる。通風量 4 m^3/s.t の場合には通風時間 1/8 時間で通風温度 40°C の場合のみ条件を満た

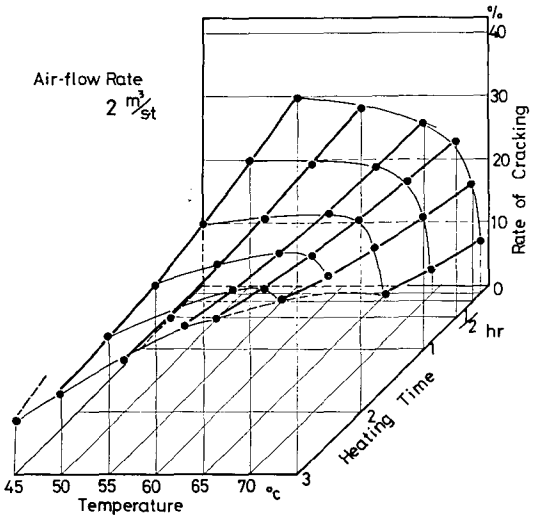

Fig. 3-16. Relation between heating conditions and rate of drying.

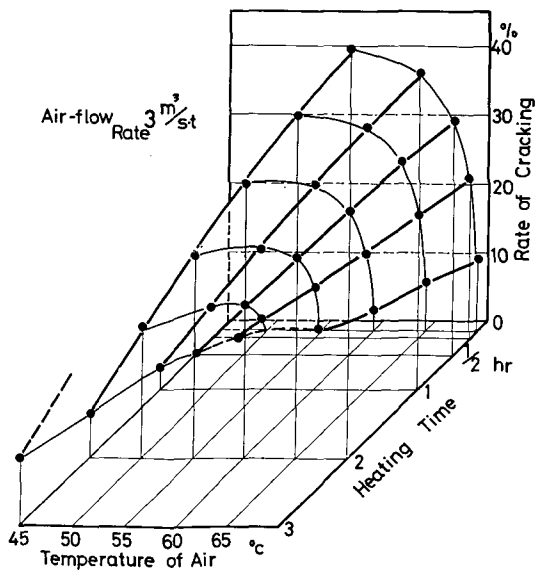

Fig. 3-17. Relation between heating conditions and rate of cracking.

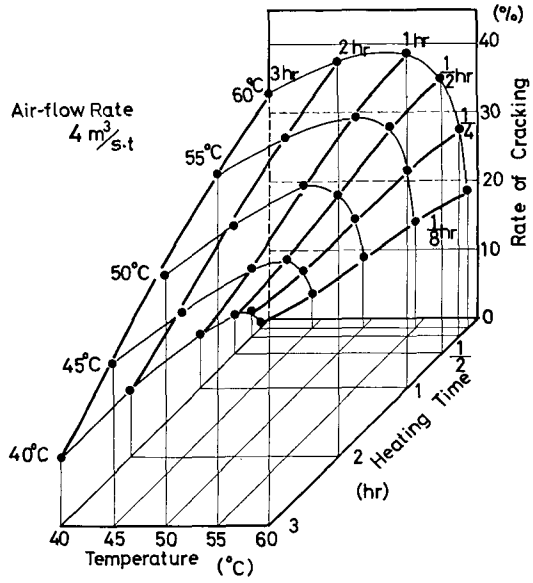

Fig. 3-18. Relation between heating conditions and rate of cracking.

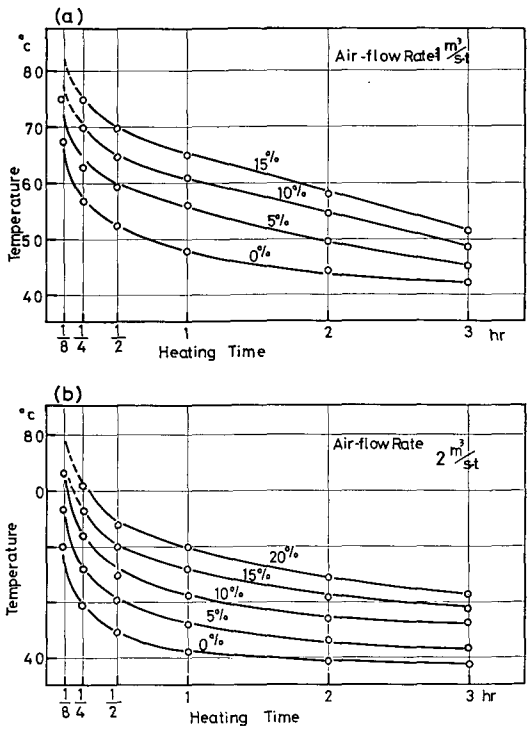

Fig. 3-19. Relation between heating conditions and rate of cracking.

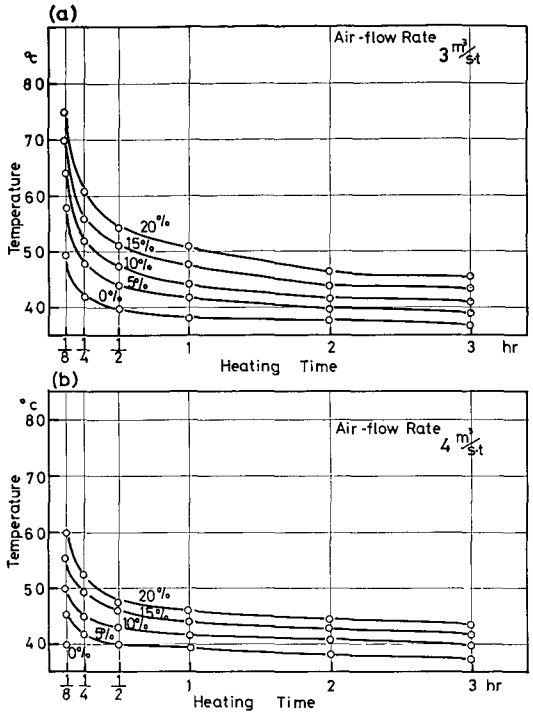

Fig. 3-20. Relation between heating conditions and rate of cracking.

すことを知った。一方，食糧庁の農産物規格規程の3等米の胴割れ粒を含む被害粒の上期値が15% であること，および搗精歩留りを考慮して胴割れ率の上限値を5% とすると上述した通風時間で通風量と通風温度との関係を求めると，通風量1 m³/s.t の場合は通風温度を67～62°C，2 m³/s.t の場合は68～54°C，3 m³/s.t の場合は53～46°C，4 m³/s.t の場合は43～41°C にそれぞれ調整すれば良いことになる。

b. 乾減率と胴割れ率との関係

Fig. 3-21 (a)～(d) は通風温度をパラメータとし通風量別に乾減率と胴割れ率との関係を示したものである。通風量を増したり，通風温度を上げたりすることによって胴割れ率が増える傾向は既述した通りであるが，乾減率の増加に伴って胴割れ率が減少することを知った。従来連続通風乾燥方式においては乾減率を増すと胴割れ率も増すものであるが，テンパリング乾燥方式においては通風時間を短縮することによって乾減率を増し，しかも胴割れ率を減らすことができることを知った。これは通風時間の短縮およびテンパリング期間中におけるもみ温度の調整によって，もみ温度の上昇を抑制することが出来ることに起因するもので，かかる事実はテンパリング乾燥方式の特長と考えられる。

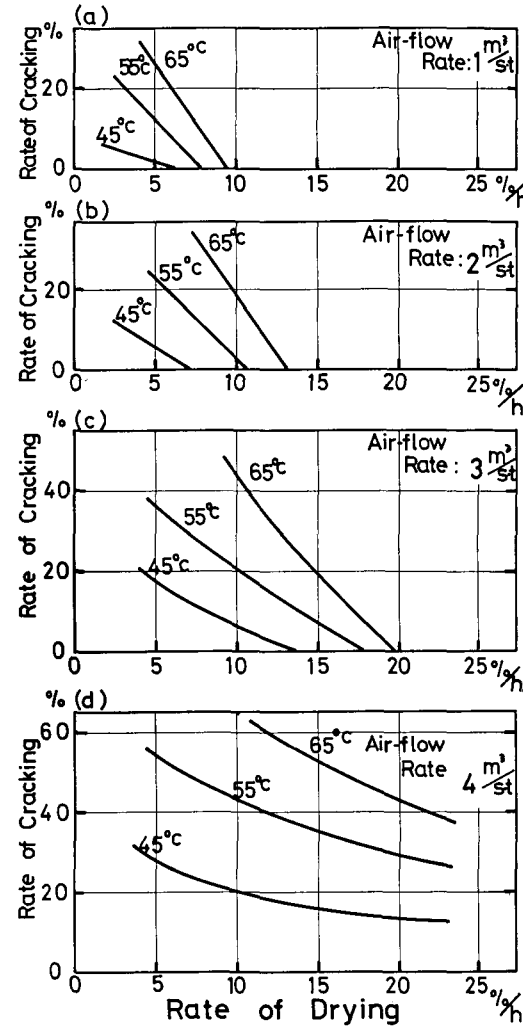

Fig. 3-21. Relation between rate of drying and rate of cracking.

c. もみ温度と胴割れ率との関係

乾燥機を用いて，実際にもみ乾燥を行なう際，胴割れ発生を比較的容易かつ正確に予知することのできる指標を提示することは乾燥機の使用者にとって非常に有意義であると考えられる。ここでは胴割れ発生予知のための指標として通風条件と強い相関があり，しかも測定が比較的簡単であることから，もみ温度を取り上げ検討することにする。Fig. 3-22 は通風温度をパラメータとし通風時間と乾燥過程中の最高もみ温度との関係を示したものである。本図より通風時間が1/2時間以内では通風中，もみ温度は上昇を続けるが，1/2時間以上では通風

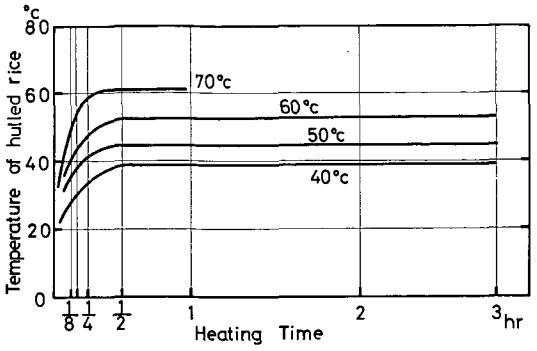

Fig. 3-22. Heating condition vs maximum temperature of hulled rice.

温度に応じほぼ一定の温度に漸近し，40°C の通風温度では 38°C に，50, 60, 70°C の通風温度ではそれぞれ，45, 54, 61°C に近づくことを知った。なお，通風量の異いによるもみの到達温度には有意的差異が認められなかった。これは少ない通風量で乾燥する場合，仕上げるまでに通風する回数を増す必要があるので，もみ温度は通風量の多い場合とほぼ同一の温度まで上昇することによるものと解される。

いずれにせよ，もみ温度は通風温度より低く，通風温度が高いほど通風温度ともみ温度との差が大きくなる。

Fig. 3-23 は通風温度を 40, 50, 60°C とした場合の通風量と胴割れ率との関係をもみ温度をパラメータとして示したものである。通風温度が一定であっても通風量と通風時間とが変れば，その組み合わせによって到達する最高もみ温度は Fig. 3-22 に示すごとく変化し，これに伴って胴割れ率が変化する。通風温度およびもみ温度が

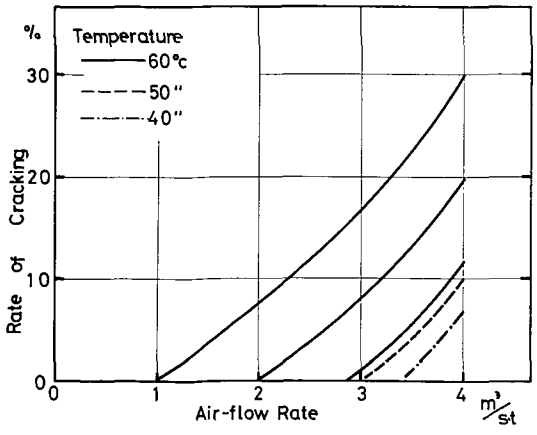

Fig. 3-23. Maximum temperature of hulled rice vs rate of cracking.

同一であっても通風量が増大（この場合，通風時間は短かく通風回数は多くなる）すると胴割れ率は増大し，さらに同一通風量で，しかも同一もみ温度を示していても通風温度が上昇すると胴割れ率が増大することを知った。したがって胴割れ率はもみ温度の上昇に伴って増大するが同一もみ温度を示しても，通風条件の組み合わせ如何によって胴割れ率の値げ変化することを知った。

なお，Fig. 3-23 より今回の実験条件の範囲内において，通風量 4 m^3/s.t なる通風条件は不適当であることを知った。通風量を 3 m^3/s.t 以下に規定し，さらにもみ温度をほぼ 37°C 以下に抑制するような通風条件を設定すれば胴割れ率を 5% 以内に保持することが可能であることを確認した。

d. 乾燥過程中および乾燥仕上り後の胴割れ率

Fig. 3-24 は通風温度 50°C の場合，乾燥過程中および乾燥仕上がり後 48 時間（'印を付した値）における胴割れ率を示すものである。乾燥過程中の胴割れ率はもみ水分が 17% 以下になると増加し，通風量が多く通風時間が長い程その増加率は大きくなっている。乾燥仕上がり後 48 時間における胴割れ率はいずれも乾燥仕上がり時における胴割れ率よりも高い値を示しており通風条件が苛酷で，しかも仕上がり水分値が低いほど胴割れ率が大きく増加することを知った。乾燥仕上がり後胴割れ率が増加することは連続通風乾燥について他の研究者も指摘しているが，テンパリング乾燥にも同様のことがいえる。この原因は乾燥仕上がり後における保管方法が適切でないことによるものか，あるいは他の原因によるものかは即断できないが，実験に供したもみの重量が 7.5 kg と比較的少量であったため，乾燥仕上がり後の放冷が比較的急速に行なわれた（本実験において乾燥仕上がりもみをビニール袋に密封し，これを平均室温 21°C，最高 24°C，最低，16°C において保管した）ことが胴割れ率増加の遠因になったことも十分考えられる。したがって，

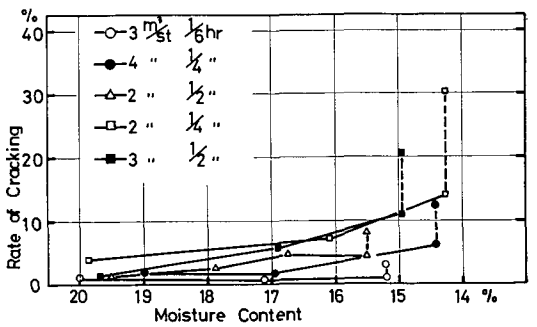

Fig. 3-24. Rate of cracking.

実用規模の乾燥機を用いて多量のもみを乾燥調製する場合には乾燥仕上がり後におけるもみの放冷による胴割れ率の増加を比較的軽微に抑制することが可能となろう。

いずれにせよ，胴割れ率は仕上がり水分が低くなるほど増加するので過乾燥にならないように十分注意を払う必要がある。

2. 発 芽 率

発芽率は種子もみの品質として最も重要視されているものである。食用もみに関しても発芽率を大幅に低下させる通風条件を適用した場合には，胴割れ率を増加させ光沢および食味が低下する。したがって発芽率は食用もみの品質を間接的に評価する指標となる。Fig. 3-25 は「しおかり」を供試材料とし，通風量 4 m³/s.t の場合，通風温度と通風時間とが発芽率におよぼす影響を示したものである。図中の符号 A～G は通風時間がそれぞれ，3, 2, 1, 1/2, 1/4, 1/6, 1/8 時間であることを示している。本図より通風温度が高く，通風時間が長いほど発芽率が低下することを知り，特に通風温度に大きく影響されることを知った。しかし，通風温度が高くても通風時間が短かければその影響は緩和されることを知った。Fig. 3-26 はもみ温度と発芽率との関係を示したものである。もみ温度が 40°C を起えると発芽率が著しく低下することを知った。この温度は胴割れ発生の限界温度とほぼ一致している。

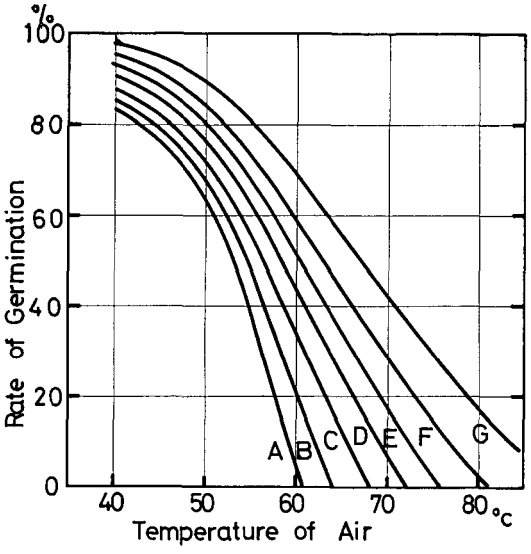

Fig. 3-25. Heating conditions vs germination ratio.

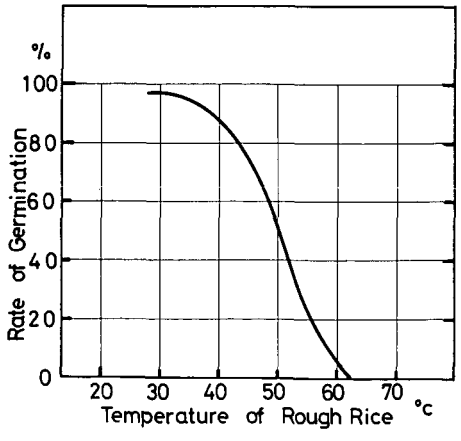

Fig. 3-26. Relation between temperature of rough rice and germination.

3. 玄米および精米の光沢

玄米および精米の光沢は肉眼によって観察したので厳密な判定を下し得ないが，本実験の結果ではもみ温度を常時 40°C 以下に保てば自然乾燥を行なった製品とほぼ同等の製品を得ることを確認した。

第3節 要　約

回分式テンパリング乾燥方式を用いてテンパリング時間を一律3時間に規定し，通風条件，すなわち通風温度，通風量および通風時間と乾減率および品質との関係を求めるべく実験を行なって以下の諸点を明らかにすることができた。

1) 乾減率は通風温度が高く，通風量が多く，通風時間が短かいへど増大することを知った。通風時間の短縮限界はほぼ 1/8 時間と考えられる。これ以上通風時間を短縮すると通風温度を高め通風量を増大させても，もみに充分な熱エネルギを供給することが困難となり，却って乾減率が低下するものと考えられる。その上，搬送機の容量および送風機の規模大が必要となり，固定経費および運転経費の増加を招く不都合が生ずる。したがって実用の乾燥機を用いて，テンパリング時間を3時間に規定し，比較的高水分もみを乾燥する場合，通風時間は 1/6～1/3 時間程度が適当であると考えられる。

2) 通風条代と胴割れ率との関係を検討した結果，通風温度が高く，通風量が多く，通風時間が長いほど胴割れ率が増大することを知った。実験結果より胴割れの発生を予知する一つの指標としてもみ，温度が有効であることを知った。今，胴割れ率の許容上限値を 5% とすると，通風量を 3 m³/s.t 以下に規定し，もみ温度を常時 37°C 以下に保つことが要求される。ただし，もみ温度が同一であっても通風条件の組み合わせ如何によっては

胴割れ率の値に変動があることを知った。すなわち，同一もみ温度を示しても通風温度が高く，通風量が多いほど胴割れ働が増大することを知った。

3) 発芽率はもみ温度を常時 40°C 以下に調整すれば，80% 以上の値を維持することが可能であることを知った。

4) 玄米および精米の光沢を肉眼で観察したが，もみ温度を常時 40°C 以下に調整すれば自然乾燥による製品と同等の製品を得ることができることを知った。

第 IV 章 テンパリング時間を変えた場合の回分式テンパリング乾燥実験 —低水分もみを用いた場合—

第 1 節 実験目的および実験方法

A. 実験目的

第 III 章において通風条件が乾減率および品質におよぼす影響について検討した。さらに種々に組み合わされた通風条件に対して，それぞれ適切なテンパリング条件が存在するものと予想され，その条件を満たせばテンパリング効果に一層の期待を寄せ得るものと思われる。

本章ではテンパリング時間の長短が乾減率および品質におよぼす影響を知る目的で，テンパリング時間を変えて行なった実験結果について述べる。なお，米の収穫乾燥作業として，収穫時期の天候に比較的恵まれている地域ではバインダもしくは手刈りによって収穫し，これを圃場において予乾した後，乾燥機を用いて仕上げ乾燥する体系を採用している場合がある。さらに，普通型コンバイン，もしくは自脱型コンバインを用いて収穫する場合でも収穫期の後半には比較的低水分もみが収穫されることになる。かかる現況に鑑み比較的低水分もみを用いて本実験を実施した。

B. 実験装置

実験装置は第 III 章に述べた装置と同一のものを用いた。

C. 実験方法

1. 実験条件の設定

通風温度を第 III 章で述べた実験結果および市販のテンパリング乾燥機に採用されている通風温度等を考慮して一律 60°C とした。通風量を 2, 3, 4 m^3/s.t の 3 段階とし，通風時間を品質の低下を防ぎつつ乾減率を高める目的で比較的短時間とし，1/6, 1/3, 1/2 時間の 3 段階に規定し，これらを適宜組み合わせて通風条件とした。さらにテンパリング時間を 1, 3, 5 時間の 3 段階とし，Table 4-1 に示すごとき実験条件を設定した。

Table 4-1. Experimental conditions

Heating time (hr)	Air flow rate. (m^3/st)	Tempering time (hr) 1	3	5
1/6	2	—	—	—
	3	*	*	*
	4	*	*	*
1/3	2	*	*	*
	3	*	*	*
	4	*	*	*
1/2	2	*	*	*

2. 測定項目および測定方法

測定項目は ① もみ水分，② 各種温湿度および通風量，③ 胴割れ率，④ 発芽率の 4 項目とした。測定方法はいずれも第 III 章に述べた方法と同様の方法を用いた。なお，胴割れ率の測定は乾燥仕上がり直後および乾燥仕上がり 48 時間後において行ない，さらに軽胴割れについても合わせて測定を行なった。

Table 4-2. Consitution and initial miosture content of samples

Winnowed paddy (%)	Ear-breaking grain (%)	Damaged grain (%)	Hulled grain (%)	Hull (%)	Inert matter (%)
86.4	10.0	1.9	0.1	1.5	18.70
81.5	12.8	3.4	0.5	1.5	18.95
86.8	7.8	3.1	1.3	1.2	19.80
34.9	9.2	3.7	0.7	1.5	
85.9	9.1	3.3	0.2	1.3	
Average 85.1	9.7	3.1	0.6	1.4	19.15

D. 供試材料

供試材料は1967年度北海道上川郡東川町産のもみで品種は「ささほなみ」である。収穫は1967年10月12日に普通型コンバイン（クレーソン：M 135型）を用いて行ない，粗選機で選別を行なった後，これを麻袋に入れて本研究室に搬入した。搬入したもみはビニール袋に3～4 kgずつ小分け密封して0±0.5°Cに温度調整した保蔵庫内に貯蔵した。Table 4-2 に供試もみの初期組成並びに初期水分を示す。当年の本道における作柄は良好(作況指数116%）であり精粒割合は比較的高かった。ただし，コンバインの調整が不十分であったためか穂切れ粒の混入率は比較的高い値を示している。

供試もみを室内（平均温度21°C，平均相対湿度63%）において自然乾燥した後，手むきおよび試験用もみ摺り機によって脱稃して胴割れ率を測定した。その結果をTable 4-3 に示す。胴割れ率は0.5～1.5%の範囲内にとどまったが，軽胴割れ率は13.5～19.0%に達していることを知った。軽胴割れ率が比較的高い値を示したのは圃場において降霜にあい，急速な乾燥が行なわれたことによるものと考えられる。

Table 4-3. Rate of carcking

	Slight cracking (%)	Cracking (%)	Moisture content (%)
Hand hulling	13.5	1.0	14.5
	19.0	0.5	14.5
Huller	17.0	1.5	15.3
	16.5	0.5	15.3

なお，手むきによる脱稃法ともみ摺り機による脱稃法との間に胴割れ率の差異をみとめることができなかったので，本実験において胴割れ率測定のための脱稃は専ら試験用もみ摺り機を用いることとした。

第2節　実験結果および考察

A. 乾燥条件が乾減率におよぼす影響

1. 乾燥過程における実測例

実験結果の一例として通風量3 m³/s.t，通風時間1/6時間，テンパリング時間3時間の場合の乾燥過程をFig. 4-1 に示す。本図より，初期水分19.50%のもみは，通風期を3回繰り返すことによって，14.32%まで乾燥することを知った。各通風期における乾減水分を比較すると第1回目通風期が1.15%，第2回目が1.94%，第3回目が1.84%となっている。第1回目通風期における乾減水分が最も少なかったのは，初期もみ温度が2.5°Cと低かったことを挙げることができる。本実験を通じて初期もみ温度は平均1.8°C（最高4.3°C，最低0.9°C）であった。

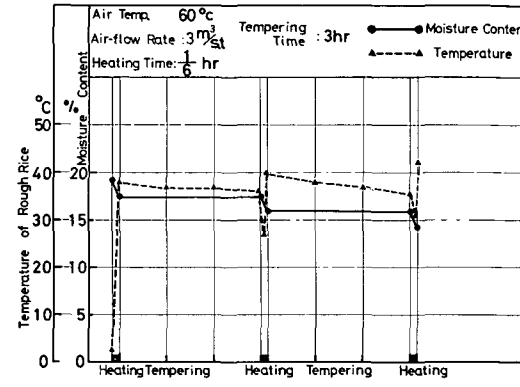

Fig. 4-1. Drying process.

本道においてバインダもしくは手刈りによって収穫し圃場において予備乾燥したもみ，もしくはコンバインによって収穫時期の後期に刈取ったもみは外気温度の低下に伴ってもみ温度も相当低い値を示しているので本実験に供したもみの初期温度は現地において乾燥機に持ち込まれるもみの温度とほぼ等しいものとみてよい。なお，乾減率は第III章に述べた方法にしたがって，もみ水分が15.0%に到達する時点を図面上に求めて算定することにした。本実験における乾減水分は4.25%，所要通風時間は0.39時間であったので乾減率は10.90%/hrとなる。もみ温度は通風期を重ねるたびに上昇し，乾燥開始時において2.5°Cであったものが乾燥終了時には42.0°Cを示した。なお，通風期終了時におけるもみ温度がこれに続くテンパリング期におけるもみ温度に合致しない場合には，第III章において述べたようにテンパリング期間中のもみ温度の推移を参考にして補正を行なうことにした。

次に通風量3 m³/s.t，通風時間1/6時間，テンパリング時間5時間の場合の乾燥過程をFig. 4-2 に示す。初期水分19.6%のもみは通風期を3回繰り返すことにより14.80%まで乾燥することを知った。この場合の乾減率は11.60%/hrであった。すなわち，通風条件を同一にしてテンパリング時間を3時間から5時間に延長することによって，乾減率は0.70%/hr増加することを知った。これはテンパリング時間の延長に伴って玄米内部から稃への水分移行量が増大したことに起因するものと考

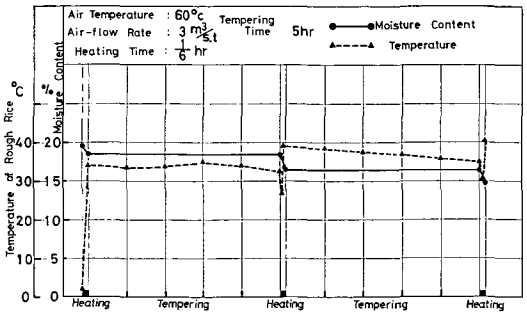

Fig. 4-2. Drying process.

えられる。もみ温度は初期温度 2.4°C であったものが乾燥仕上がり時に 40.5°C を示した。乾燥終了時のもみ温度はテンパリング時間 3 時間の場合に比較して 1.5°C 低い値を示している。これはテンパリング時間の延長に伴ってもみ温度の調整が進行したことに起因するものと考えられる。なお，実験期間中を通じて，テンパリングタンク周囲の温度は 21～26°C の範囲内を推移した。

2. 乾燥条件が乾減率におよぼす影響

Fig. 4-3～Fig. 4-5 は通風量をそれぞれ 2, 3, 4 m^3/s.t とした場合，通風時間およびテンパリング時間と乾減率との関係を示したものである。低水分もみについても通風量を増加し通風時間を短縮すると第 III 章において述べた比較的高水分もみの場合と同様に，乾減率が増加する傾向を認める。さらに本実験においてテンパリング時間を延長すると乾減率が増加することを確認した。すなわち，Fig. 4-3 に示すように通風量 2 m^3/s.t，通風時間 1/2 時間の場合，テンパリング時間を 1 時間から 5 時間に延長すると乾減率は 5.6%/hr から 7.0%/hr に増加している。

一方，テンパリング時間を 1 時間に規制して，通風時間を 1/2 時間から 1/3 時間に短縮すると乾減率は 5.6%/hr から 7.2%/hr に増加することを知った。なお，テンパリング時間を 1 時間から 5 時間に延長することによって乾減率の増加を計る効果は，通風時間を 1/2 時間から 1/3 時間に短縮することによって得られる効果とほぼ等しいことを知った。同様に通風量 3 m^3/s.t，通風時間 1/6 時間の場合，テンパリング時間を 1 時間から 5 時間に延長すると乾減率は，2.0%/hr 増加するが，通風時間 1/3 時間の場合には 1.6%/hr の増加にとどまり，通風時間を延長するとテンパリング時間の延長に伴う乾減率の増加量が減少することを知った。

通風量 4 m^3/s.t，通風時間 1/6 時間の場合，テンパリング時間を 1 時間から 5 時間に延長すると乾減率は 2.6%/hr 増加し，本実験の乾燥条件下では最高値であった。

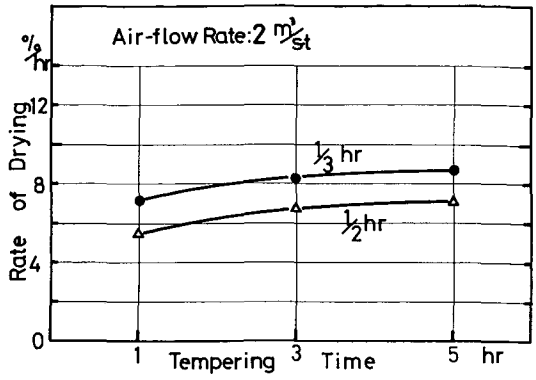

Fig. 4-3. Drying conditions vs rate of drying.

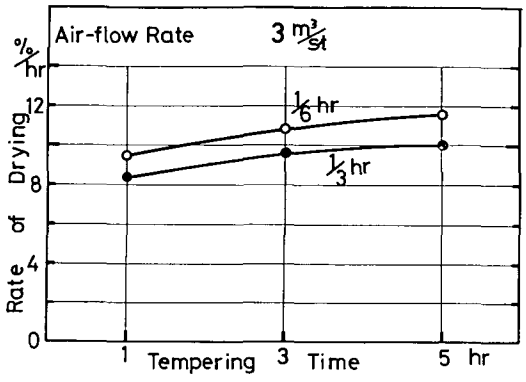

Fig. 4-4. Drying conditions vs rate of drying.

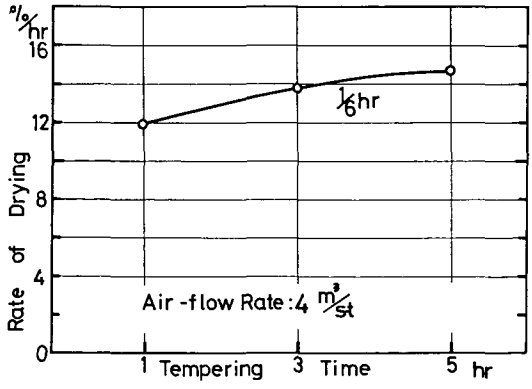

Fig. 4-5. Drying conditions vs rate of drying.

以上，乾燥条件が乾減率におよぼす影響をまとめると，通風量を増加し，通風時間を短縮すると乾減率は増加し，さらにテンパリング時間を延長することによっても乾減率の増加を計り得ることを知った。しかもテンパリング時間の延長による乾減率の増加効果は通風量が多

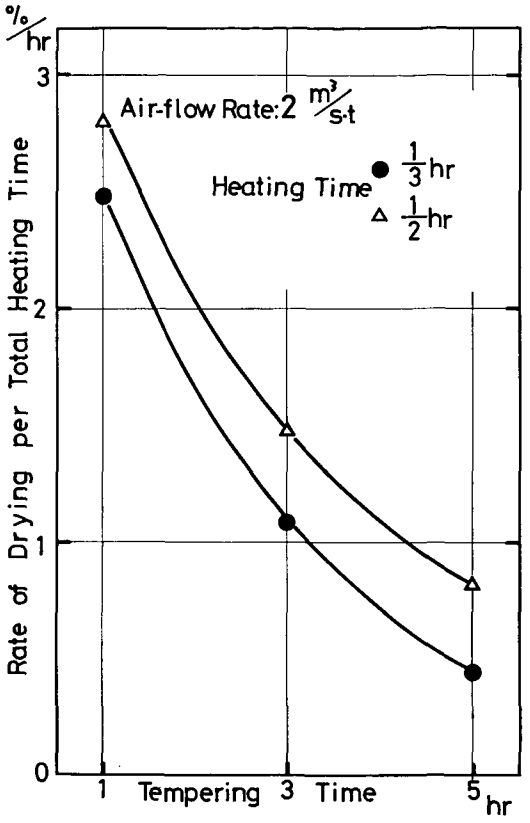

Fig. 4-6. Drying condition vs rate of drying (for total heating time).

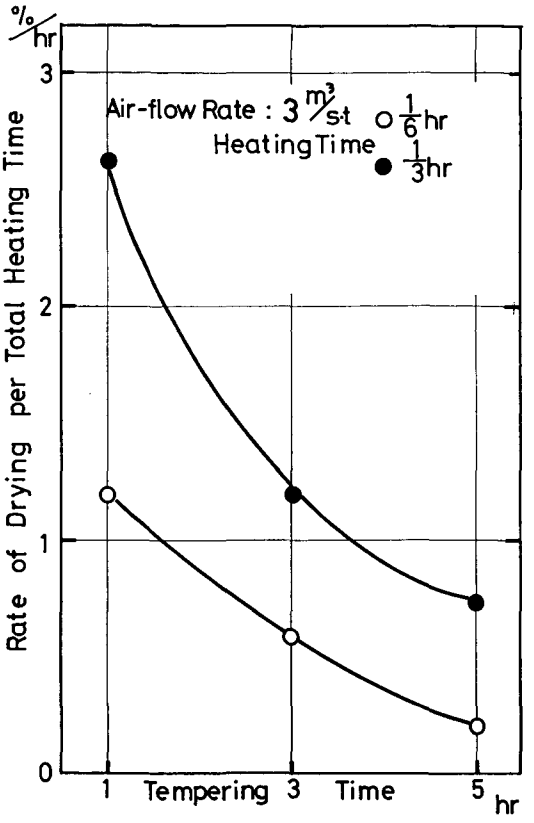

Fig. 4-7. Drying condition vs rate of drying (for total heating time).

く，通風時間が短かい場合に顕著であった。なお，本実験で得られた乾減率は第 III 章で述べた比較的高水分もみの場合の乾減率より，1～5%/hr 程度低い値を示している。これは，もみ水分が比較的低かったこと，および初期もみ温度が低かったことに起因するものと考えられる。

次に，通風時間にテンパリング時間を加えた総乾燥時間当りの乾減率について検討する。Fig. 4-6～Fig. 4-8 は通風量別に通風時間およびテンパリング時間と総乾燥時間当りの乾減率との関係を示すものである。これらの図より，通風量が多く，通風時間が長く，しかもテンパリング時間が短かいほど，総乾燥時間当りの乾減率は増加することを知った。通風時間当り乾減率の最高値を示した通風量 4 m^3/s.t，通風時間 1/6 時間，テンパリング時間 5 時間なる乾燥条件における総乾燥時間当りの乾減率は通風時間当りの乾減率が最も低かった乾燥条件（通風量 2 m^3/s,t，通風時間 1/2 時間，テンパリング時間 1 時間）における乾減率のほぼ 1/6 にすぎないことを知った。したがって，乾燥部とテンパリングタンク部とが一体となっている比較的小型のテンパリング乾燥機に総乾燥時間当りの乾減率が低い乾燥条件を適用すると総乾燥時間が長くなり，収穫乾燥作業の円滑な実施が阻害されることになる。

一方，共同乾燥施設で用いられている乾燥装置のように，乾燥部とテンパリングタンク部とが分離しており，数多くのテンパリングタンク群が設置されている場合には乾燥部における乾減率，すなわち通風時間当りの乾減率が高いものほどより多くのもみを処理することが可能になる。したがって使用する乾燥機の型式に適合する合理的な乾燥条件を設定することが必要となる。

B. 乾燥条件が品質におよぼす影響

1. 乾燥条件と胴割れ率との関係

Fig. 4-9～Fig. 4-11 に通風量をそれぞれ，2, 3, 4 m^3/s.t とした場合の乾燥条件と乾燥仕上がり時における胴割れ率およびもみ温度との関係を示す。なお，図中に破線で示すのは軽胴割れ率である。

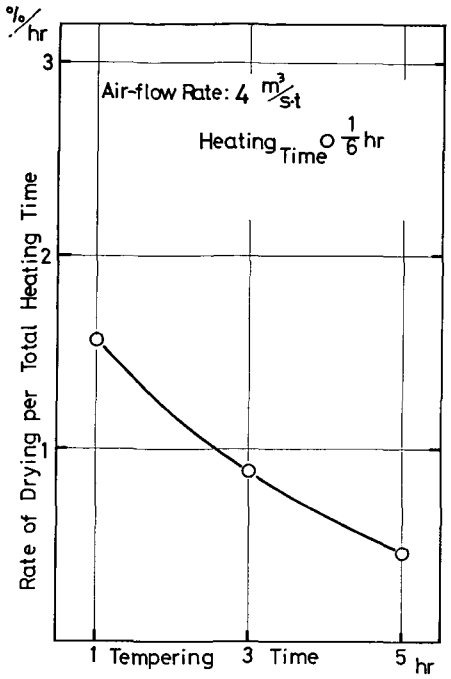

Fig. 4-8. Drying conditions vs rate of drying (for total heating time)

通風条件と胴割れ率との関係は第 III 章で述べた比較的高水分もみを用いた場合と同様であり，通風量が多く通風時間が長いほど，もみ温度は上昇し，胴割れ率が増加する傾向を示している。一方，胴割れ率はテンパリング時間の延長に伴って減少することを確認した。これはテンパリング期間中にもみ温度の調整が行なわれた（テンパリング期間中のもみ温度の低下値は乾燥条件によって異なるが，平均 4.7°C，最低 1.2°C，最高 11.3°C であった）こと，さらに通風期に生じた玄米内部の水分勾配がテンパリング期間中に是正されたことを挙げることができる。なお，もみ温度と胴割れ率との間に強い相関関係をみとめることができ，通風条件によって多少異なるが，もみ温度を 38～40°C 以下に調整すれば胴割れ率を 5% 以内に抑制することができることを知った。今，胴割れ率の上限値を 5% とし，これを満足させる乾燥条件を求めると，通風量 2 m³/s.t で通風時間 1/3 時間の場合はテンパリング時間を 4 時間以上に，通風量 3 m³/s.t で通風時間 1/6 時間の場合はテンパリング時間を 3 時間以上に設定することが必要となる。

なお，通風量 2 m³/s.t で通風時間 1/2 時間，通風量 3 m³/s.t で通風時間 1/3 時間，および通風量 4 m³/s.t で通風時間 1/6 時間なる通風条件を採用した場合にはテンパリング時間を 5 時間に延長しても胴割れ率を 5% 以内に保持することは不可能であった。

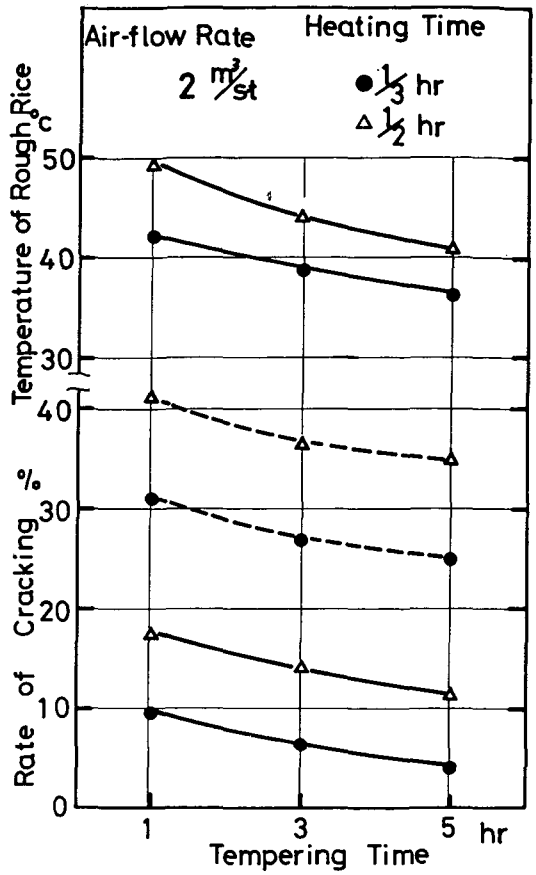

Fig. 4-9. Relation between drying conditions and cracking ratio.

次に，本実験で得られた乾燥条件と胴割れ率との関係を第 III 章で述べた比較的高水分もみを用いて行なった実験結果と比較すると，同一乾燥条件下において，もみ温度はほぼ等しいのに対し，本実験における胴割れ率が 2～10% 低い値を示していた。乾燥条件が同一であっても初期水分の低いもみの胴割れ率が初期水分の高いもみのそれを下回るという報告[2] がなされているが，本実験においても同様の傾向をうかがうことができた。この理由としては，① 比較的高水分もみは乾燥仕上がりまでに要する通風回数が多いため低水分もみの場合と同じもみ温度を示しても，もみの受熱量が多く，しかも繰り返し温度変化を受ける回数も増えるため，玄米に繰り返しストレスが加えられることになる。② 本実験に用いた試料の玄米水分値がいわゆる胴割れ発生水分帯とみなされ

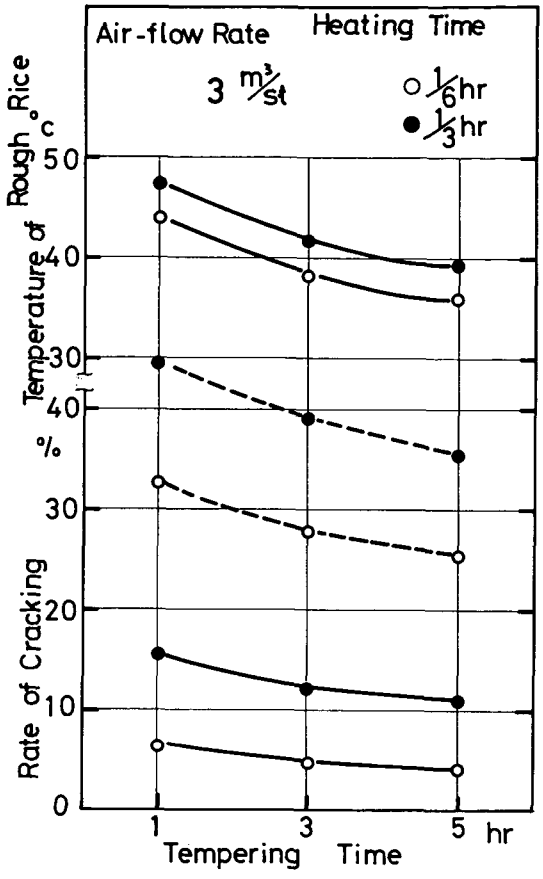

Fig. 4-10. Relation between drying conditions and cracking ratio.

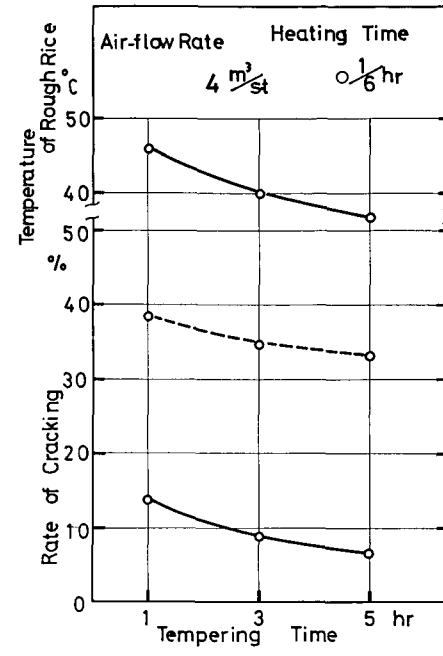

Fig. 4-11. Relation between drying conditions and cracking ratio.

る自由水分域から準結合水分域への境界域よりも低値であったこと等を挙げることができよう。

本実験において，いずれの乾燥条件においても軽胴割れ率は25% 以上の値を示した。これは供試材料の初期軽胴割れ率が13.5～19.0% を示していたことから考察して，さほど重大な品質低下とは考えられないが，軽胴割れ粒が胴割れ粒へ移行する可能性が十分あると考えられる。したがって乾燥開始時における胴割れ率および軽胴割れ率が高い場合は通風条件を緩和し，テンパリング期間中にもみ温度の調整を十分に行なう配慮が肝要である。

2. 乾燥条件と発芽率との関係

Fig. 4-12 (a)～(c) は乾燥条件と発芽率およびもみ温度との関係を通風量別に示すものである。発芽率は通風条件を苛酷にし，テンパリング時間を短縮するほど低下する傾向を示すことを確認した。さらに発芽率はもみ温度と強い相関関係を持っており，もみ温度の上昇に伴って発芽率は低下するが，もみ温度を40°C 以下に保てば発芽率を80% 以上に保持することが可能であることを知った。発芽率の許容下限値を80% とし，各通風条件に対する所要テンパリング時間を求めると，通風時間1/6時間，通風量2～4 m³/s.t なる通風条件に対して1.5時間以上，通風時間1/3時間の場合，通風量2 m³/s.t に対して2時間以上，通風量3 m³/s.t に対して3時間以上のテンパリング時間が必要となる。しかし，通風時間1/3時間ではテンパリング時間を5時間としても発芽率を80% 以上に保持することはできなかった。

以上，乾燥条件と品質との関係を胴割れ率および発芽率について検討した。その結果，胴割れ率および発芽率とも，もみ温度と強い相関関係を有し，もみ温度の上昇に伴って胴割れ率は増加し，発芽率は低下することを知った。品質保全のために全乾燥期間を通じてもみ温度を38～40°C 以下に保持することが望ましく，そのために通風条件とテンパリング時間とを合理的に組み合わせる必要がある。

第3節 要 約

本章において，圃場において予乾燥を受けたもみおよび収穫時期の後期に収穫される比較的低水分もみの乾燥を想定し，供試材料に比較的低水分もみを用いて，テン

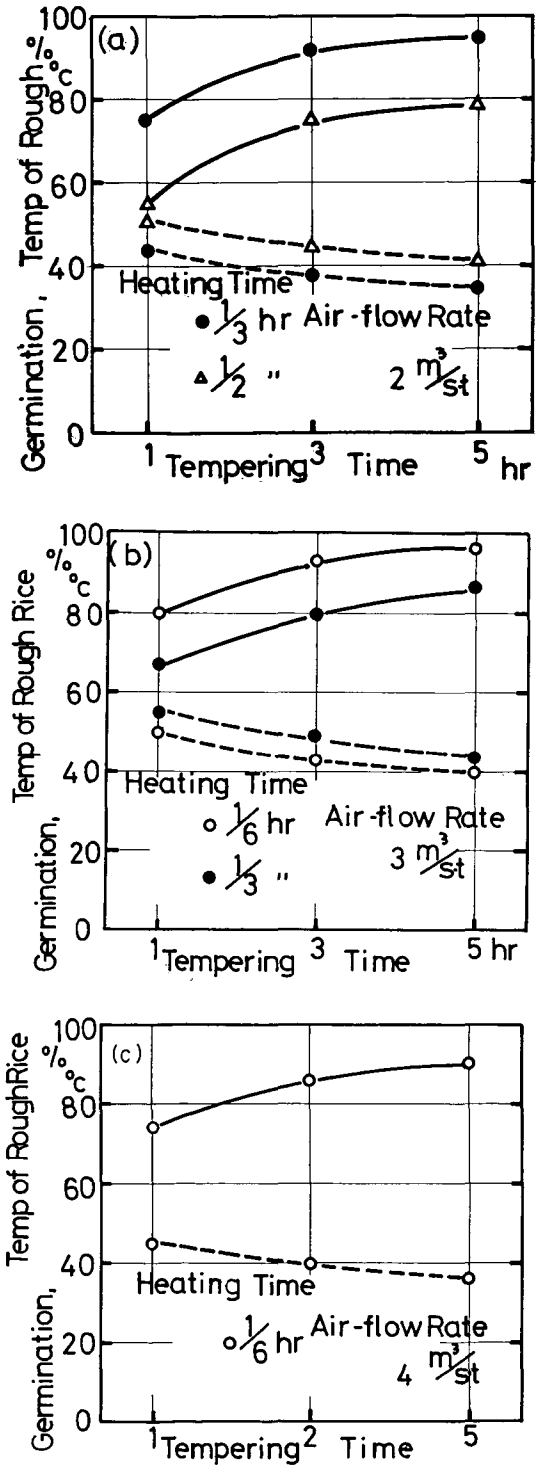

Fig. 4-12. Relation between drying conditions and germination ratio.

パリング時間の長短が乾減率およびもみの品質におよぼす影響を知る目的で実施した実験について述べた。なお，乾燥条件は通風温度を一律に 60°C とし，通風量，通風時間およびテンパリング時間を適宜組み合わせて設定した。

本実験において得られた結果を検討し，以下の諸点を明らかにすることができた。

① 通風条件が乾減率におよぼす影響は第 III 章で述べた比較的高水分もみの場合と同様であり，さらにテンパリング時間の延長に伴って乾減率が増加することを知った。テンパリング時間の延長による乾減率の増加は，通風量が多く，通風時間が短かいほど顕著であった。なお，乾減率を第 III 章で述べた比較的高水分もみを用いた場合の乾減率と比較すると，ほぼ 1～5%/hr 低い値を示した。この理由として，もみ水分が低くかったこと，およびもみ初期温度が低くかったことを挙げることができる。

② 乾燥条件がもみ品質におよぼす影響を検討した結果，胴割れ率および発芽率とももみ温度の影響を強く受けることを確認した。品質保全の見地より，もみ温度の許容上限値は，ほぼ 38～40°C と考えられる。したがって通風条件が苛酷な場合は，テンパリング時間を延長して，もみ温度の調整を行なう必要があることを知った。なお，胴割れ率を，比較的高水分もみを用いた場合の胴割れ率と比較すると，同一乾燥条件に対して 2～10% 低い値を示した。

③ 上記 ① および ② で述べたように，乾減率の増加および品質保全の両見地から考察すると，テンパリング時間は長いほど有効であると考えられるが，テンパリング時間を延長すると総乾燥時間が延長し，用いる乾燥機の型式如何によっては収穫・乾燥作業の円滑な実施が損われる可能性がある。したがって乾燥部とテンパリングタンク部とが一体となっている小型のテンパリング乾燥機にはテンパリング時間を比較的短かく (2～3 時間) し，一方，共乾施設で用いられる乾燥装置のごとく乾燥部とテンパリングタンク部とが分離している場合は，テンパリング時間を比較的長く (3～4.5 時間) する等の配慮が必要となる。

第 V 章 テンパリング時間を変えた場合の回分式テンパリング乾燥実験
—高水分もみを用いた場合—

第 1 節 実験目的および実験方法

A. 実験目的

第 III 章において，テンパリング時間を一律3時間とし，通風条件と乾減率およびもみ品質との関係を高水分もみについて明らかにした。さらに第 IV 章において，テンパリング時間および通風条件と乾減率およびもみ品質との関係を低水分もみについて検討を加えた。本章では供試材料として高水分もみを用い，上記の実験結果を参考にしてテンパリング時間の長短および通風条件が乾減率およびもみ品質におよぼす影響を明らかにすべく実施した実験について検討を加えることにする。さらに本章ではテンパリング機構の解析およびテンパリング期間中におけるもみの適切な保持方法についても考察することにする。

B. 実験装置

供試実験装置の内，実験風洞および試料充填槽は第 III, IV 章に述べたものと同一のものを用いた。本実験ではテンパリング機構の解析を行なうために，試料充填槽の上部空気室に Fig. 5-1 に示す排気測定用の試作湿度計を設置した。本湿度計の感温部は白金抵抗体温度計(北辰電機製：RS-200, Pt：50 Ω) を用いた。なお，測定値の精度を高めるために，本湿度計に直径 120 mm の軸流ファンを取り付け，これを 100 V, 0.15 A の交流モータで駆動した。

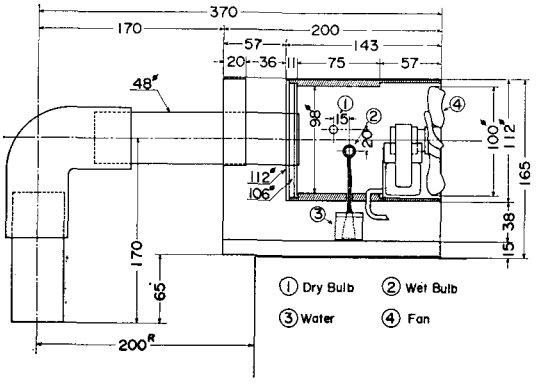

Fig. 5-1. Psycolometer for exhaust air.

本実験において Fig. 5-2 に示すようなテンパリングタンクを2個用い，乾燥条件の異なる2つの実験を並列して行ないうるようにして実験期間の短縮化をはかった。テンパリングタンクは厚さ 0.5 mm のブリキ製二重壁容器で側壁は内径 200 mm の円筒形，底部はもみの排出を容易ならしむるために逆円錐形に作られ，容量はほぼ14.8ℓである。なお，二重壁の間に厚さ 25 mm のガラスウールを充填して断熱処置を行なった。これに Fig. 5-3

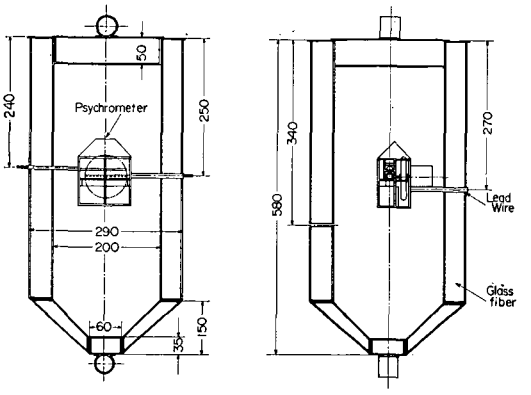

Fig. 5-2. Tempering tank.

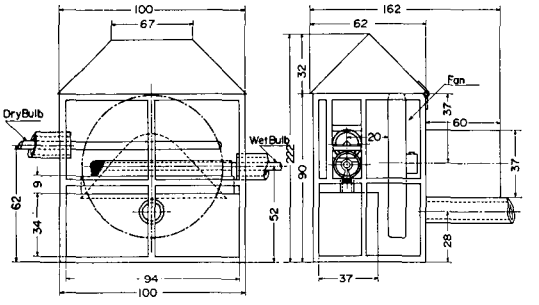

Fig. 5-3. Psycolometer for tempering tank.

に示すテンパリングタンク用として試作した湿度計を設置した。本湿度計の感温部は排気測定用湿度計に用いた感温部と同一規格の白金抵抗体温度計を用いた。本湿度計には，直径 80 mm の軸流ファンを取り付け，これを 6 V, 0.2 A の直流モータで駆動した。モータの発熱による測定誤差を防ぐために，モータと感温部との間に遮蔽板をもうけた。さらに湿球用ガーゼ面から蒸発する水分による測定誤差を防ぐために湿球用水溜と感温部との間のガーゼ面をブリキ製の板で被覆した。

C. 実験方法

1. 試作湿度計の較正試験

アスマン型基準湿度計（中浅測器製：SY-1 型）を基準とし，恒温恒湿槽（タバイ製作所製：TL-42 型）内において試作湿度計（排気用およびテンパリングタンク用）の較正試験を行なった。恒温恒湿内の温湿度は，温度を 30～60°C, 相対湿度を 30～100% の範囲内に調整した。なお，相対湿度の算出は次式を用いて行なった。

$$H=\frac{h}{h_s}\times 100,\ \text{ただし，}\ h=h'-0.5(t-t')\frac{P}{755}$$

ここに，H：相対湿度 (%)，t：乾球温度 (°C)，t'：湿

球温度(℃), h: t(℃)における水蒸気分圧(mmHg), h_s: t(℃)における飽和水蒸気の分圧 (mmHg), P: 大気圧 (mmHg), h': t' (℃) における飽和蒸気圧 (mmHg)

2. 実験条件の設定

通風温度は第 IV 章において述べた実験条件と同様に一律に 60℃ とし，通風量は 3, 4 m³/s.t の 2 段階，通風時間は 1/6, 1/3, 1/2 時間の 3 段階とした。これらを組み合わせて通風条件を設定し，テンパリング時間は 1.5, 3.0, 4.5, 6.0 時間の 4 段階として，通風条件とテンパリング時間とを適宜組み合わせ Table 5-1 に示すごとき実験条件を設定した。なお，回分式と連続通風方式との対比を行なうことを目的とし，通風温度 60℃, 通風量を 3, 4 m³/s.t とし，それぞれ連続通風方式による乾燥実験をも行なった。

Table 5-1. Experiment conditions

Heating time (hr)	Air flow rate (m³/s.t)	tempering time (hr) 1.5	3.0	4.5	6.0
1/6	3	*	*	*	—
	4	*	*	*	*
1/3	3	*	*	*	*
	4	—	*	*	*
1/2	3	—	*	*	*
	4	—	*	*	*

3. 測定項目および測定方法

a. もみ水分および仕上りもみの品質

測定方法は，第 III, IV 章に述べた方法にしたがった。

b. テンパリング期間中の玄米から稃への水分移行量

玄米から稃への水分移行量の測定は第 II 章に述べた方法にしたがって行なった。本実験に供した試料の玄米と稃との乾物重量比は 3.8 : 1 を示し，したがって乾もみ 1 トン中の稃の重量は 208 kg となり，水分移行量は次式によって算出した。

$$W = wh\left(\frac{M_f}{100-M_f} - \frac{M_i}{100-M_i}\right)$$

ここに W＝玄米から稃への水分移行量 (kg/乾もみ 1 トン)
M_i＝テンパリング開始時の稃の水分 (%)
M_f＝テンパリング終了時の稃の水分 (%)
wh＝乾もみトン当りの稃の重量 (kg)

c. テンパリング期間中におけるもみ粒子間空気の温湿度

もみ粒子間空気の温湿度測定はテンパリングタンク内に設置した湿度計を用いて測定し，測定値は 12 打点式記録計 (北辰電機製：E-136A) に自記させた。さらにテンパリングタンク内のもみ層内に白金抵抗体温度計を挿入し，テンパリング期間中のもみ温度を測定した。

d. 排気の温湿度

排気の温湿度測定は試料充填槽の上部空気室に試作した湿度計を設置して行なった。測定値は上記の 12 打点式記録計に自記させた。

D. 供試材料

供試材料は 1968 年度，北海道東川町産「しおかり」を用いた。

1968 年 9 月 21 日にバインダで収穫し，これを約 50 時間圃場において予備乾燥 (地干し) した。この間 2～3 回軽い降雨にさらされている。予備乾燥を行なった後，現地で脱穀し，これを麻袋に小分けし，0±0.5℃ に温度調整した保蔵庫内に貯蔵して実験に供した。

Table 5-2 に供試材料の初期組成および初期水分値を示す。なお，平均容積重量は 505 gr/ℓ であった。

供試材料は被害粒 (主としてかび粒) を比較的多く混

Table 5-2. Consitution and Initial moisture content of samples

Winnowed paddy (%)	Ear-breaking grain (%)	Damaged grain (%)	Hulled grain (%)	Empty grain (%)	Inert matter (%)	Moisture content (%)
74.56	0.71	23.23	0.00	1.20	0.30	27.05
77.29	0.58	19.73	0.00	2.40	1.00	27.22
81.81	0.66	14.31	0.10	1.50	1.62	26.87
80.96	1.55	15.95	0.00	0.84	0.70	26.23
79.56	2.63	13.46	0.00	3.15	1.20	26.84
Average 78.65	1.23	17.34	0.00	1.82	0.96	26.84

入していたため，精粒割合は80%を下回っていた。なお，脱稃粒はごくわずかであり，又供試もみを室内（平均温度22°C，平均相対湿度58%）において自然乾燥させた後胴割れ率を測定した。胴割れ率0.8%，軽胴割れ率2.6%なる値を得た。

第2節　実験結果および考察

A.　試作湿度計の較正試験

湿度計の較正試験に先立って感温部に用いた白金抵抗体温度計の較正試験を行なった。その結果，用いた6本の白金抵抗体温度計は全て基準温度計の指示値に対して良好な直線性を示した。供試温度計の指示値と基準温度計の指示値との間には，以下に示すごとき直線性があることを確認した。

No. 1……$T_1 = 1.004t_s - 0.630$

No. 2……$T_2 = 1.003t_s - 0.560$

No. 3……$T_3 = 1.004t_s - 0.350$　$(15 \leqq t_s \leqq 75°C)$

No. 4……$T_4 = 1.005t_s - 0.410$

No. 5……$T_5 = 1.002t_s - 0.270$

No. 6……$T_6 = 1.001t_s - 0.220$

ここに　$T_1 \sim T_6$：供試温度計の指示値
　　T_s：基準温度計の指示値

上記の回帰直線に対する供試温度計の指示値の偏差を求めると，$-0.29 \sim +0.17°C$であった。したがって，供試温度計は何れも精度の高い温度計として用いることができ，かつ互換性を有していることを知った。

上述した温度計を用い，排気およびテンパリングタンク用湿度計の較正試験を行なった。Fig. 5-4は排気測定用湿度計の較正線図である。本図より試作した湿度計の指示値に対して直線関係にあることを示し，その関係は次式で示されることを知った。

$$H_e = 0.98H_s - 2.36 \quad (36 \leqq H_s \leqq 99\%)$$

ここに　H_e＝試作排気用湿度計が示す相対湿度（%）
　　H_s＝基準湿度計が示す相対湿度（%）

この場合の相関係数γは0.996，測定値の較正直線からの偏差Δhは$-1.6 \sim +1.4\%$，並びにその標準偏差Sは0.86%であった。

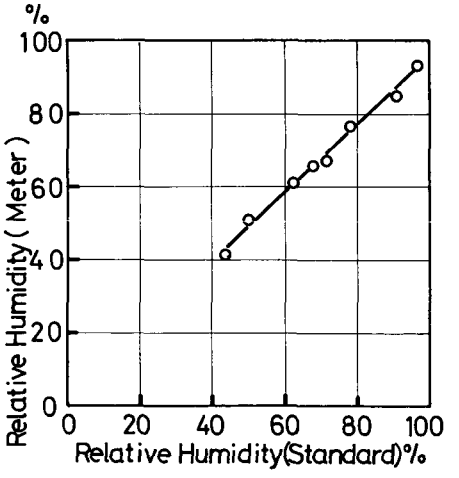

Fig. 5-4. Calibration curve of psycolometer for exhaust air.

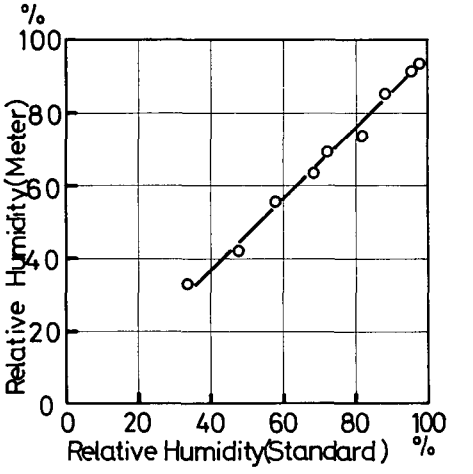

Fig. 5-5. Calibration curve of psycolometer for tempering tank.

Fig. 5-5はテンパリングタンク用湿度計の較正線図である。本湿度計は排気測定用湿度計とほぼ同様の性能を有しており，テンパリングタンク用湿度計の指示値と基準湿度計の指示値との間には次式で示される直線関係が有ることを知った。

$$H_t = 0.96H_s + 1.06 \quad (42 \leqq H_s \leqq 98\%)$$

ここに　H_t＝試作したテンパリングタンク用湿度計が示す相対湿度（%）
　　H_s＝基準湿度計が示す相対湿度（%）

この場合，相関係数γおよび標準偏差Sはそれぞれγ＝0.998，S＝1.32%であり，湿度計指示値の較正線図に対する偏差は$-2.0 \sim +2.5\%$であった。

以上の較正試験結果より考察して，試作した両湿度計は計器として十分実験に供することができるものであることを確認した。

B. 乾燥条件が乾減率におよぼす影響

1. 乾燥過程における実測例

Fig. 5-6 は通風量 3 m³/s.t, 通風時間 1/3 時間, テンパリング時間 3 時間なる乾燥条件における実験の乾燥過程中におけるもみ水分およびもみ温度の推移を示すものである。初期水分 26.51% のもみは 4 回の通風によって 14.53% まで乾燥した。各通風期における乾減水分値を比較すると, 第 1 回目通風期が 3.73%, 第 2 回目通風期以降, 3.40%, 2.59%, 2.36% と順次低下している。もみが 15.00% まで乾燥するに要した総通風時間は 1.15 時間であるので乾減率は, 10.01%/hr であることを知った。

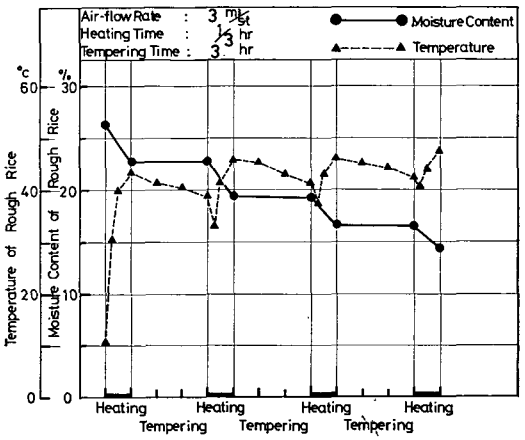

Fig. 5-6. Drying process.

今, これと同一乾燥条件における乾減率を第 III, IV 章で述べた実験結果より求めると, もみ初期水分が 30% 前後の場合は, 11.50%/hr, さらに 19% 程度の低水分の場合は 9.5%/hr となり, 本実験で求めた乾減率は上に掲げた 2 つの値のほぼ中間にあることを知り, 乾燥条件が同一である場合の乾減率は初期もみ水分の増加に伴って増加することを再確認した。

一方, 各通風期における最高もみ温度は通風期を重ねるに伴って上昇し, 乾燥終了時に 47.5°C を示している。なお, ここで言うもみ温度は既述したごとくテンパリング期間中のもみ温度の推移から想定した通風期間中のもみ温度を意味する。なお, 本実験期間を通じてのテンパリングタンク周囲の平均温度は 23°C (最高 26.5°C, 最低 18.5°C) であった。

次に, Fig. 5-7 に通風量 3 m³/s.t, 通風時間 1/3 時間, テンパリング時間 6 時間なる乾燥条件における乾燥過程を示す。初期水分 25.99% のもみは, 総通風時間 1.03 時間の通風によって 15% まで乾燥することを知り, この

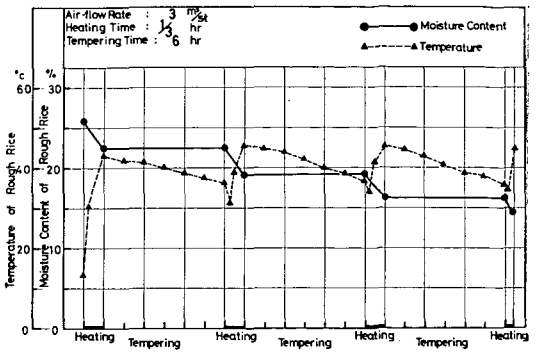

Fig. 5-7. Drying process.

場合の乾減率は 10.67%/hr であることを知った。この値を同一通風条件におけるテンパリング時間 3 時間の場合の乾減率と比較すると, 0.66%/hr の増加にすぎないことを知った。一方, もみ温度は通風開始時に 13.5°C であったものが, 乾燥終了時に 45°C を示した。最高もみ温度を同一通風条件におけるテンパリング時間 3 時間の場合と比較すると, 2.5°C 低い値を示していることを知った。これは, テンパリング時間の延長に伴ってテンパリング期間中におけるもみ温度の調整が進行したことに起因するものである。

2. 乾燥条件が乾減率におよぼす影響

Fig. 5-8, Fig. 5-9 は通風量を 3, 4 m³/s.t とした場合における通風時間およびテンパリング時間と乾減率との関係を示したものである。通風量を増加し通風時間を短縮するほど乾減率が増加する傾向は第 III, IV 章に述べた実験結果と同様である。

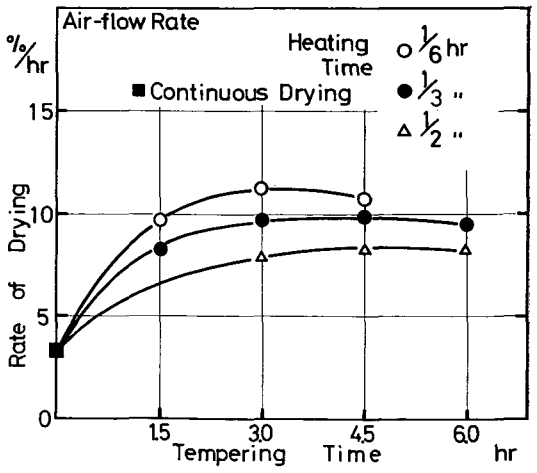

Fig. 5-8. Relation between drying conditions and rate of drying.

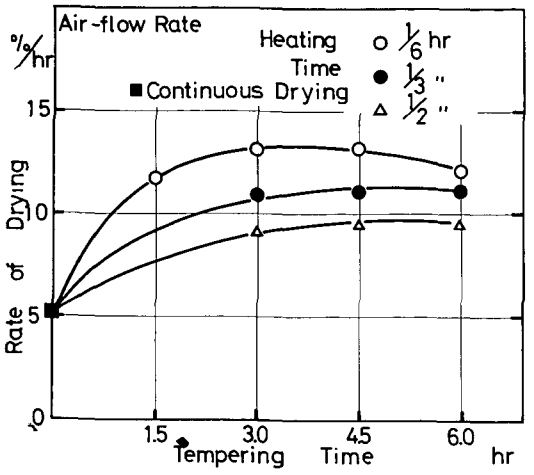

Fig. 5-9. Relation between drying conditions and rate of drying.

テンパリング時間の長短と乾減率との関係をみると，通風条件によって多少異なるが乾減率はテンパリング時間が3～4.5時間の範囲で最大値を示し，さらにテンパリング時間を延長すると乾減率は一定値を示すか，もしくは逆に減少する傾向を示している。すなわち，通風時間が1/6時間の場合，通風量3 m³/s.t においてテンパリング時間を3時間以上に，さらに通風量4 m³/s.t においてテンパリング時間を4.5時間以上に延長すると乾減率が低下することを知った。これはテンパリング期間中にもみ温度が低下し，次の通風期に乾燥の予熱期が出現することに起因するものと考えられる。したがって，通風量が比較的少なく，通風時間が短かい場合は，もみ温度の推移を十分考慮してテンパリングを適切な時点で打切ることが必要となる。

ただし，今回の実験に供したテンパリングタンクは実用のテンパリングタンクと比較して，もみ重量当りのタンク外壁面積が非常に大きい（約7.5倍）ため，テンパリング期間中のタンクからの放熱量が多くもみ温度の低下が著しかったものと考えられる。したがって実用のテンパリングタンクを用いる場合には，本実験の結果よりも乾減率が低下しないものと考えられる。

いずれにせよ，テンパリング時間の延長による乾減率の増加効果には限度があり，今，テンパリング効果を乾減率の増加のみに限定した場合，各通風条件に適合するテンパリング時間を求めると次のごとくなる。

すなわち，通風量3 m³/s.t の場合，通風時間1/6時間に対して3時間，通風時間1/3時間に対して3～4.5時間，通風時間1/2時間に対して4.5時間程度がそれぞれ適当と考えられる。一方，通風量4 m³/s.t の場合，通風時間1/6時間に対して3～4.5時間，通風時間1/3～1/2時間に対して4.5時間程度が適当と考えられる。

C. 乾燥条件が品質におよぼす影響

1. 乾燥条件と胴割れ率との関係

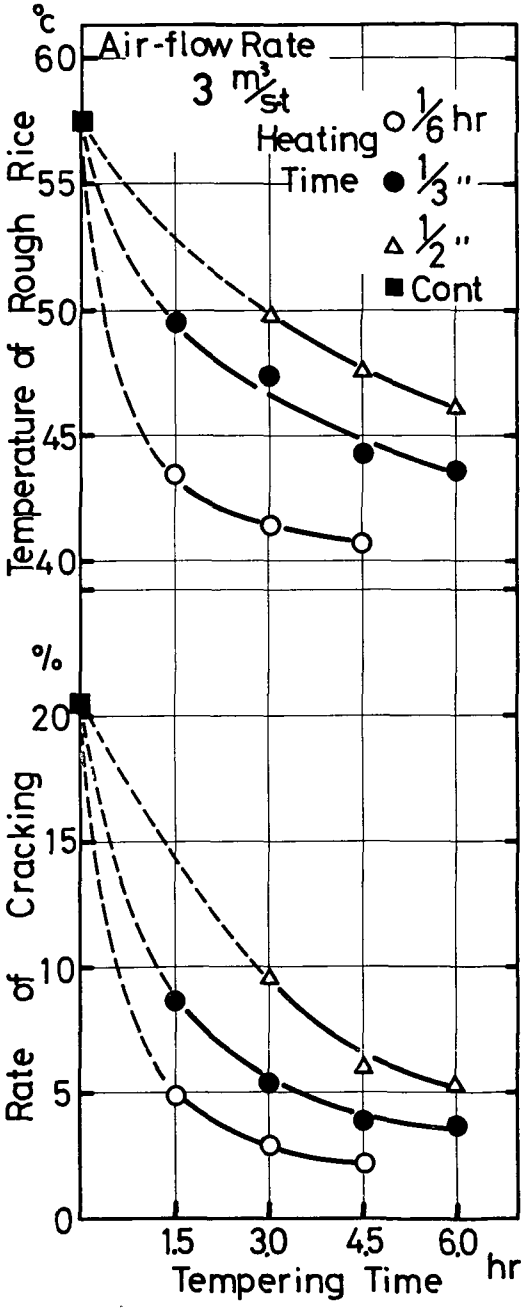

Fig. 5-10. Relation between drying conditions and cracking ratio.

Fig. 5-10 および Fig. 5-11 は通風量が 3, 4 m³/s.t における通風時間およびテンパリング時間と胴割れ率およびもみ温度との関係を示したものである。なお，本図に示す胴割れ率は乾燥仕上がり後 48 時間以上放冷（室温 18～25°C の室内において，ビニール袋に密封した状態で徐冷した）したものについて測定した。

胴割れ率は第 III, IV 章で既述した結果と同様に，通風量が多く，通風時間が長く，テンパリング時間が短かいほど増加することを知った。さらに胴割れ率は，もみ温度と強い相関関係を有し通風条件によって多少異なる

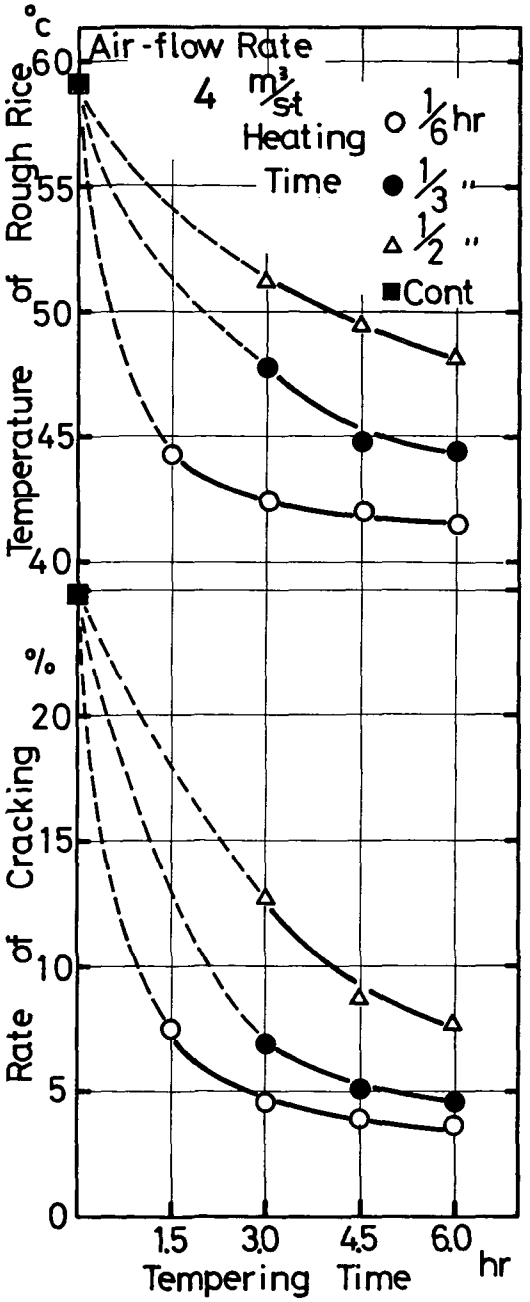

Fig. 5-11. Relation between drying conditions and cracking ratio.

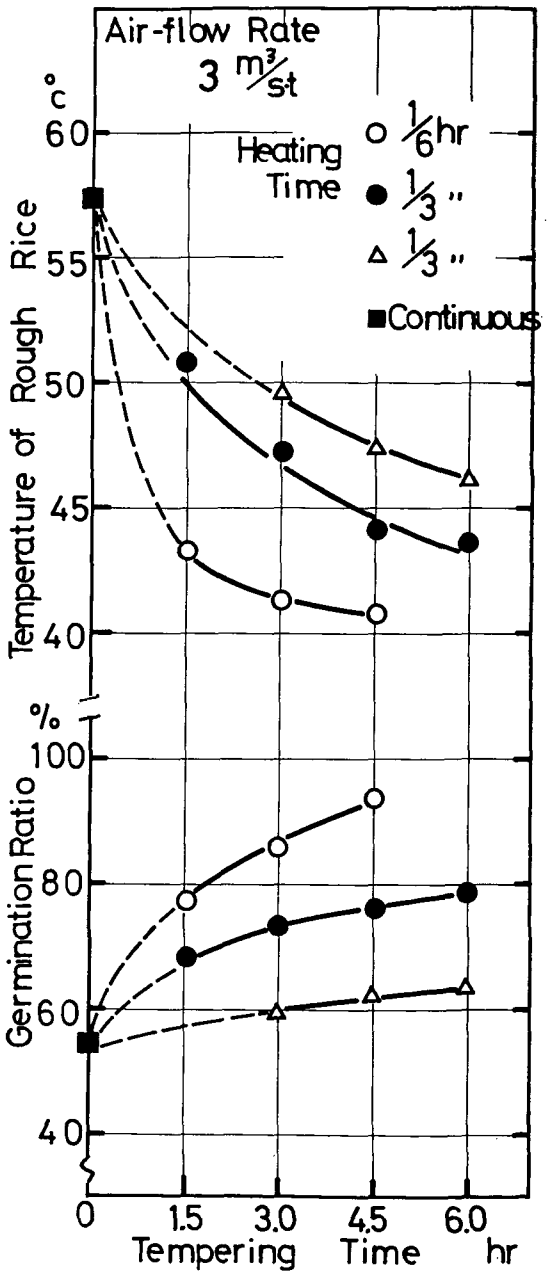

Fig. 5-12. Relation between drying conditions and germination ratio.

が，全乾燥期間を通じてもみ温度を 40～43°C に保持すれば胴割れ率の発生を 5% 以内に抑制することが可能であることを知った。次に今回の実験から胴割れ率を 5% 以下に抑制する乾燥条件を考察してみる。

通風量 3 m³/s.t の場合，通風時間 1/6, 1/3, 1/2 時間に対してテンパリングをそれぞれ 1.5, 3.0, 6.0 時間以上行なう必要がある。一方通風量 4 m³/s.t の場合，通風時間 1/6, 1/3 時間に対してテンパリングをそれぞれ 2.0, 4.0 時間以上行なう必要がある。

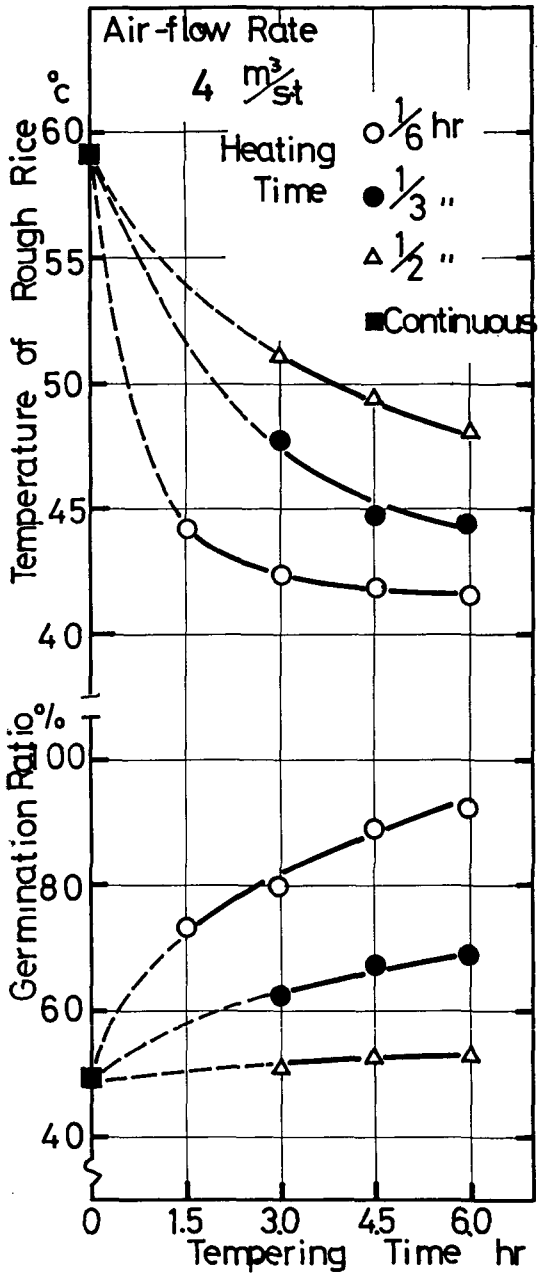

Fig. 5-13. Relation between drying conditions and germination ratio.

2. 乾燥条件と発芽率との関係

Fig. 5-12 および Fig. 5-13 は乾燥条件と発芽率との関係を示すものである。

通風量が多く，通風時間が長く，テンパリング時間が短かいほど発芽率が低下することを知った。なお，通風時間が 1/2 時間の場合にはテンパリング時間を延長することによって発芽率を増加させる割合はごく少ないが，通風時間を 1/6, 1/3 時間に短縮すると，通風量およびテンパリング時間を適宜組み合わせることによって発芽率を 70～80% の範囲に維持することが可能であることを知った。

D. テンパリング効果の解析

1. テンパリング期間中における玄米から稃への水分移行

a. 乾燥過程における実測例

Fig. 5-14 および Fig. 5-15 は乾燥過程における玄米から稃への水分移行の実測例を示すものである。Fig. 5-14 は，通風量 3 m³/s.t，通風時間 1/3 時間，テンパリング時間 1.5 時間なる乾燥条件の結果を示し，Fig. 5-15 は通風量 3 m³/s.t，通風時間 1/3 時間，テンパリング時間 4.5 時間の結果を示すものである。

両図より，テンパリング期間中のもみ水分はほぼ一定

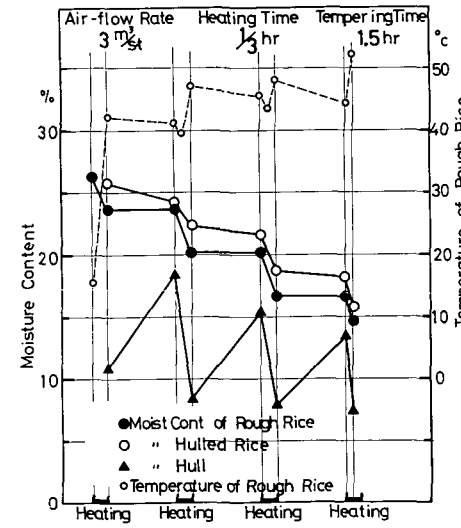

Fig. 5-14. Moisture transfefferd from hulled rice to hull.

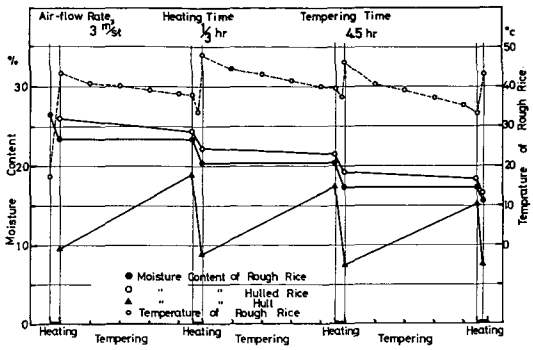

Fig. 5-15. Moisture transfefferd from hulled rice to hull.

値を示しているが，玄米水分は低下し，これに対し籾水分が増加し，玄米から籾へ向って水分の移行が行なわれていることがうかがえる。乾燥が進行し，もみ水分が低下するのに伴って，テンパリング開始時および終了時の籾の水分は低下している。テンパリング開始時と終了時における籾の水分差を求めると，テンパリング時間 1.5 時間の場合は，第 1 回目テンパリング期において 7.5%，第 2 回目が 7.0%，第 3 回目が 5.5% であった。

一方，テンパリング時間 4.5 時間の場合は，第 1 回目テンパリング期において，9.5%，第 2 回目が 9.8%，第 3 回目が 7.7% であり，いずれの回のテンパリング期を比較してもテンパリング時間 4.5 時間の方が高い水分差を示しており，テンパリング時間の延長に伴ってテンパリング期間中の玄米から籾への水分移行量が増加することを確認した。

b. 乾燥条件と水分移行量との関係

Fig. 5-16, Fig. 5-17 は通風量を 3, 4 m^3/s.t とした場合，通風およびテンパリング時間と第 1 回目テンパリング期における玄米から籾への水分移行量との関係を示すものである。

水分移行量は通風量が多く，通風時間が長く，テンパリング時間が長いほど増加する傾向を示している。すなわち，通風量が多く，通風時間が長いほど通風期における籾の乾燥は進行し，一方，第 1 回目通風期終了時における玄米水分は比較的高いため，玄米と籾との水分差が大きくなり，テンパリング時間の延長にしたがって水分移行量が増大したものと考えられる。

c. テンパリング回数と水分移行量との関係

Fig. 5-18～Fig. 5-21 (a), (b) はテンパリング時間をそれぞれ，1.5, 3.0, 4.5, 6.0 時間とした場合，テンパリング期に玄米から籾へ移行する水分量と通風量，通風時間

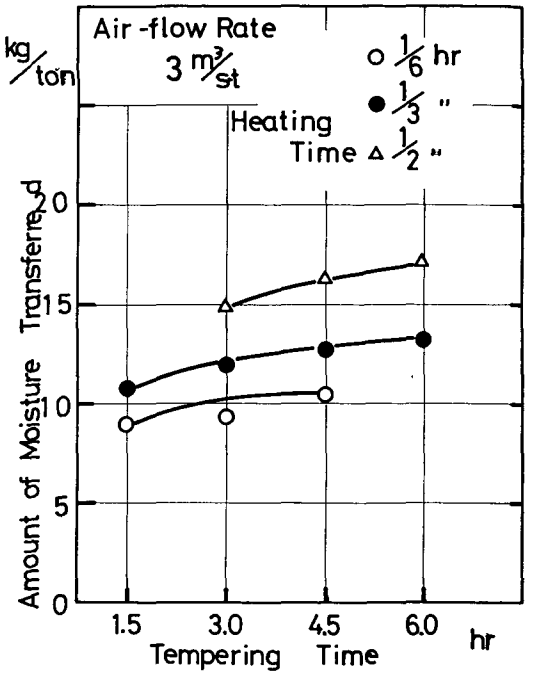

Fig. 5-16. Drying conditions vs moisture transfefferd.

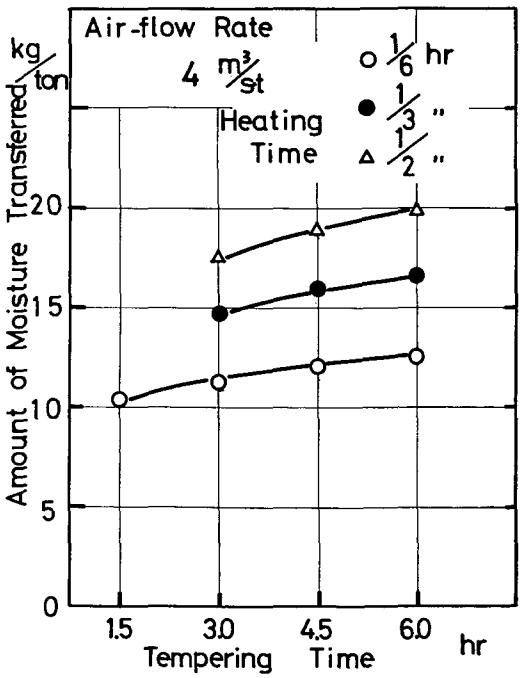

Fig. 5-17. Drying conditions vs moisture transfefferd.

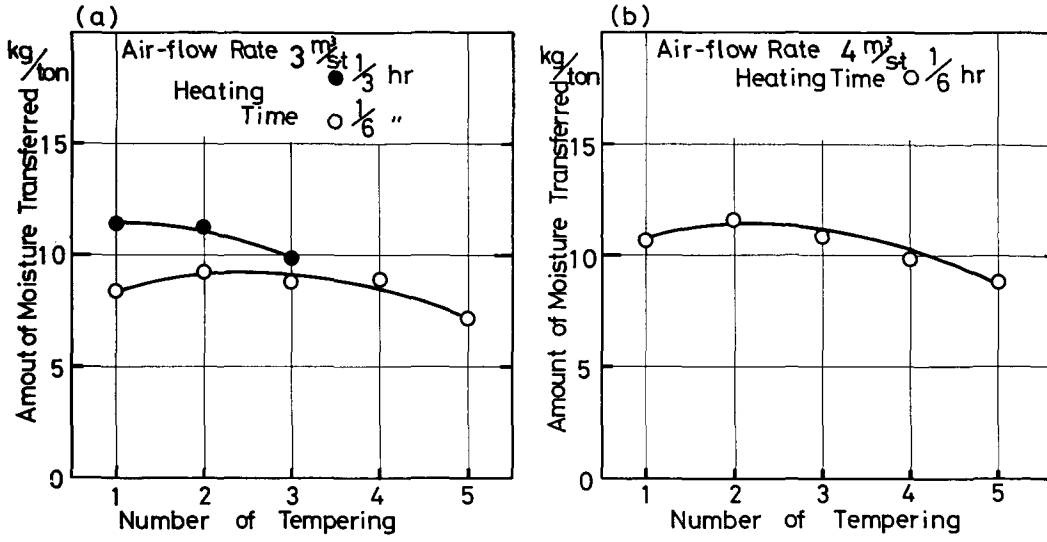

Fig. 5-18. Relation between moisture transfeffed and tempering period.

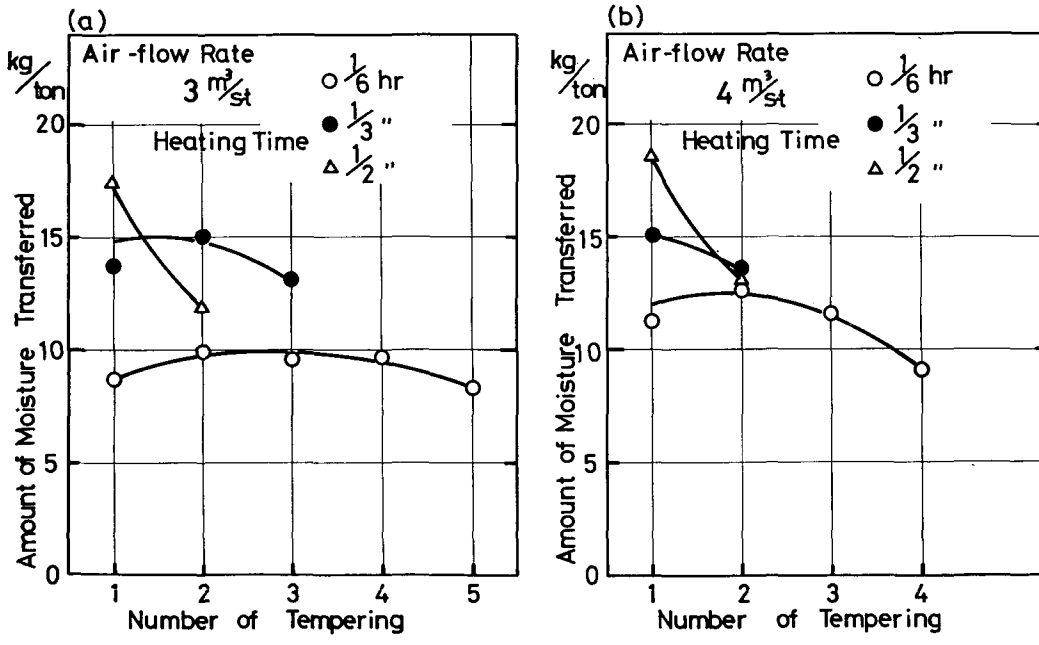

Fig. 5-19. Relation between moisture transfeffed and tempering period.

およびテンパリング回数との関係を示したものである。

Fig. 5-18 (a), (b) はテンパリング時間が1.5時間の場合，第2および第3回目のテンパリング期において水分移行量が最大になることを知った。第1回目のテンパリング期おける水分移行量が比較的低い値を示したのは，通風時間が短かいため，第1回目通風期における稃の乾燥が不十分であったことによるものと思われる。一方，第2,3回目通風期と通風を重ねるに伴って稃の乾燥が進み，水分移行量が増大する。第4回目以降のテンパリング期における水分移行量が減少するのは，通風を重ねる

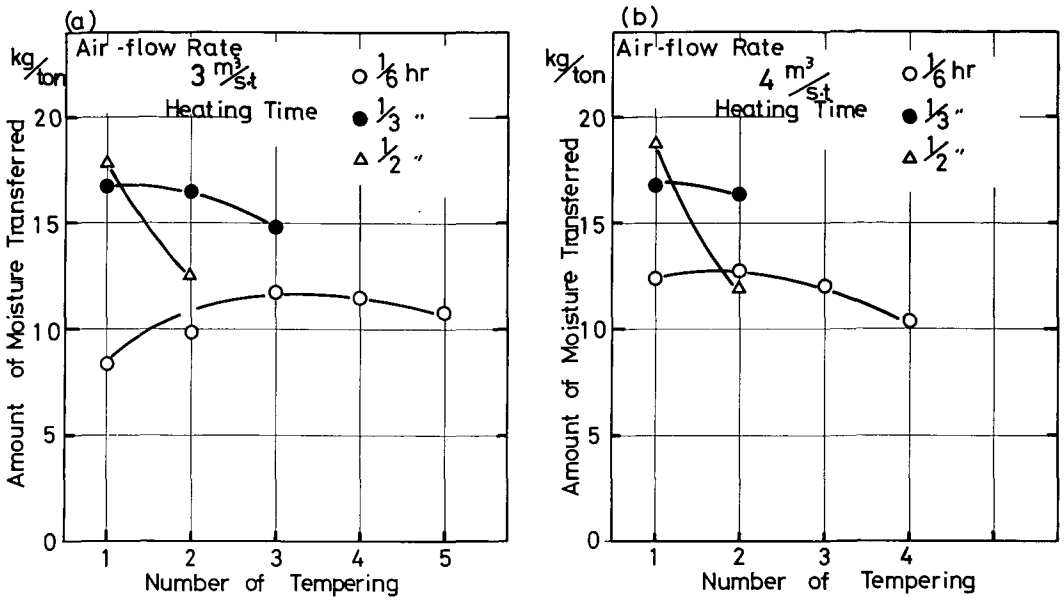

Fig. 5-20. Relation between moisture transfeffed and tempering period.

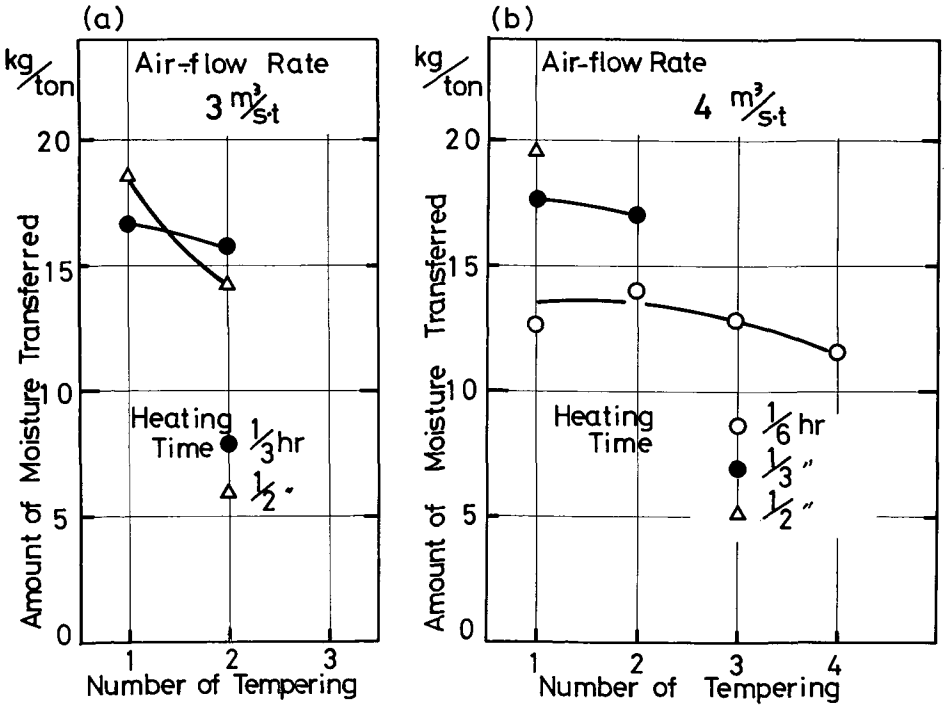

Fig. 5-21. Relation between moisture transfeffed and tempering period.

結果，玄米および稃の水分が共に低下し，玄米と稃との水分差が減少することに起因するものとみて良い。

通風時間 1/3 時間の場合には，比較的通風時間が長いため，第1回目の通風期における稃の乾燥が進み，第1回目のテンパリング期における水分移行量は通風時間 1/6 時間の場合よりも大きい値を示すが乾燥の進行と共に，玄米と稃との水分差が減少し，水分移行量は低下することを知った。

Fig. 5-19 (a), (b) はテンパリング時間が3時間の場合の結果を示す。水分移行量がテンパリング回数によって変化する傾向は，テンパリング時間 1.5 時間の場合と同様であるが，水分移行量をテンパリング時間 1.5 時間の場合と比較すると，いずれも大きい値を示すことを知った。通風時間 1/2 時間の場合，第1回目テンパリング期における水分移行量は大きい値を示すが，第2回目テンパリングにおいて水分移行量は大幅に減少し，通風時間 1/3 時間のそれよりも低い値を示している。かかる傾向は Fig. 5-20, Fig. 5-21 (a), (b) に示すテンパリング時間 4.5 時間および 6.0 時間の場合にもうかがうことができる。これは，通風時間が比較的長いため，乾燥の進行に伴い玄米および稃の水分が共に低下し，玄米と稃との水分差が減少することに起因するものと考えられる。

以上，水分移行量と乾燥条件およびテンパリング回数との関係を検討した結果，水分移行量はテンパリング開始時の玄米と稃との水分差および玄米水分などとの間に相関関係があることをうかがい得たので，次にこれらの関係について考察を行なうことにする。

d. テンパリング開始時おにける玄米と稃の水分差とテンパリング回数との関係

Fig. 5-22～Fig. 5-25 はテンパリング時間をそれぞれ，1.5, 3.0, 4.5, 6.0 時間とした場合，テンパリング開始時における玄米と稃の水分差とテンパリング回数との関係を示すものである。これらの図より，玄米と稃との水分差は各テンパリング期を通じて通風条件の影響を強く受け，テンパリング時間の長短にはほとんど無関係であることを知った。今，通風量 3 m^3/s.t，通風時間 1/6 時間のごとく通風量が少なく，通風時間が短かい場合には乾燥の初期において玄米水分は比較的高い値を示す一方，稃の乾燥が比較的緩慢であるため玄米と稃との水分差は低く推移し，最大水分差は第4回目のテンパリング期に生じた。

通風時間を 1/6 時間とし，通風量を 4 m^3/s.t に増すと第2回目のテンパリング期に最大水分差が生ずることを知った。一方，通風時間が 1/3, 1/2 時間の場合の最大水分差は，第1回目のテンパリング期に生じ，以後乾燥の進行に伴って玄米および稃の水分が共に低下するため，玄米と稃との水分差は減少する。

以上，テンパリング期間中の玄米から稃への水分移行量の推移から，適切なテンパリング時間を検討すると次のごとくなる。すなわち，通風量が少なく，通風時間が

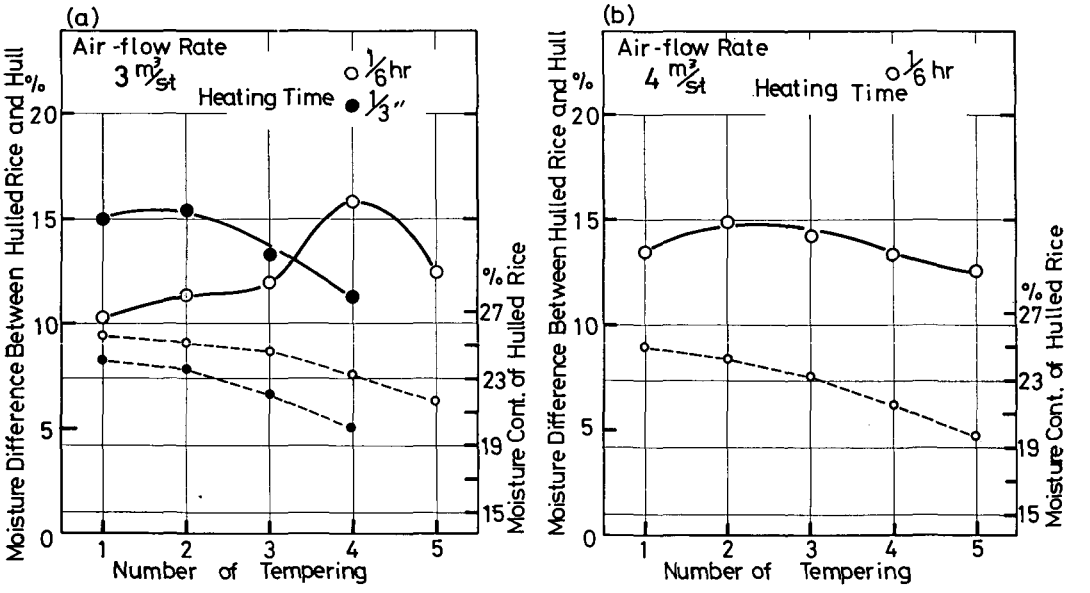

Fig. 5-22. Relation between drying conditions and moisture difference hulled rice and hull.

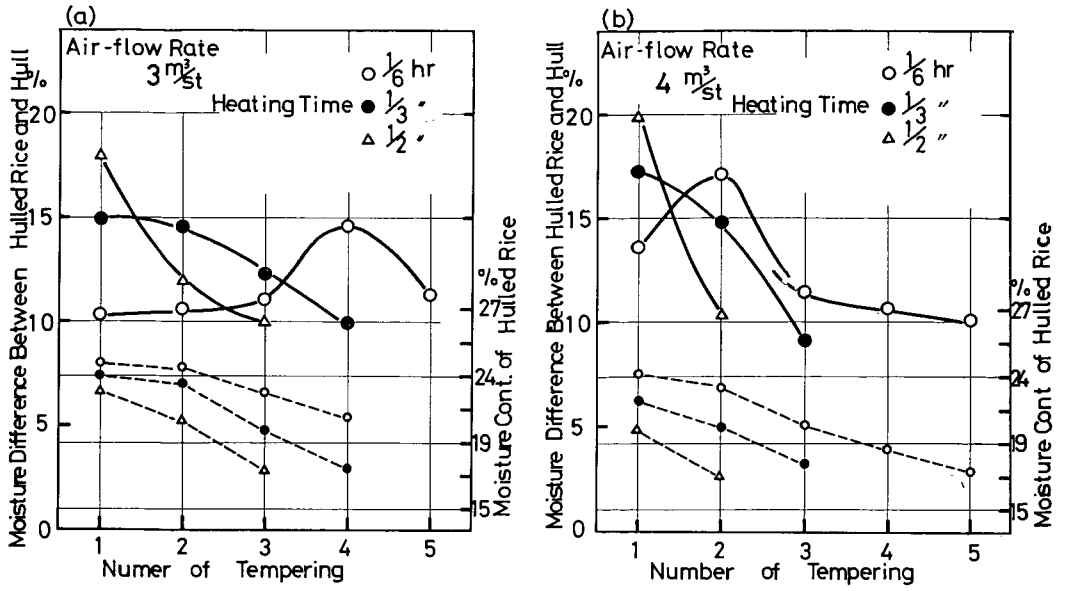

Fig. 5-23. Relation between drying conditions and moisture difference hulled rice and hull.

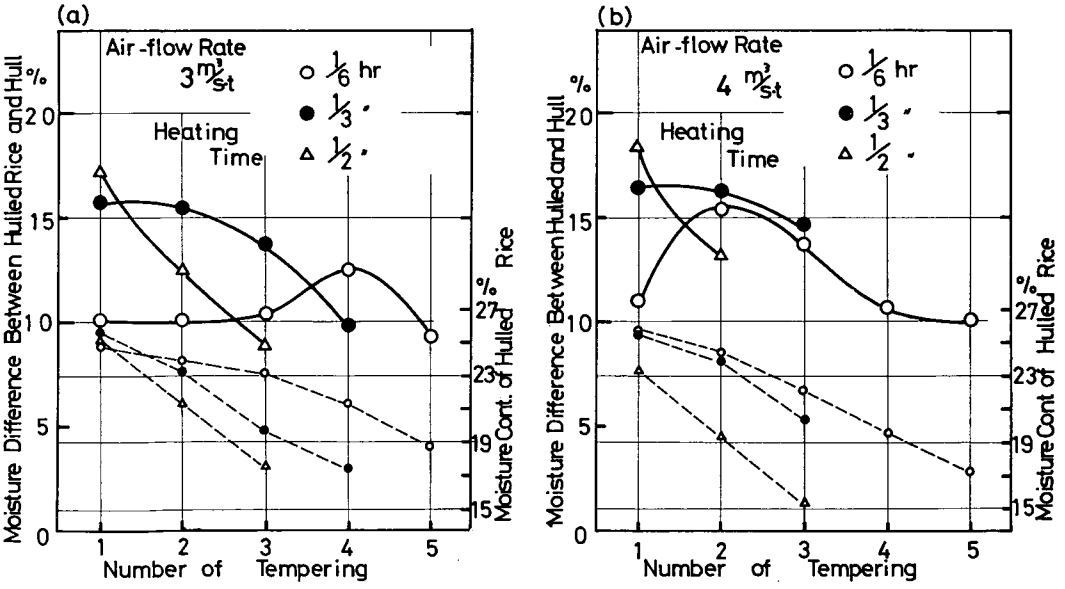

Fig. 5-24. Relation drying between conditions and moisture difference hulled rice and hull.

短かい場合には，乾燥の初期において玄米と籾との水分差が少なく，もみ温度も比較的低いのでテンパリング時間は短時間で十分であるが，乾燥の進行に伴い，玄米と籾との水分差が増大し，もみ温度が上昇した時点において水分移行量の増加およびもみ温度の調整を計るためにテンパリング時間を延長せしめることがのぞましい。乾燥の終期においては玄米および籾の水分が共に低下するのでテンパリング時間を延長することによる水分移行量の増加はさほどのぞめないが，もみ温度の調節を計る目的でテンパリングに十分な時間を見込む必要がある。一方，通風量が多く，通風時間が長い場合は乾燥の初期において玄米と籾との水分差が大きく，しかももみ温度は

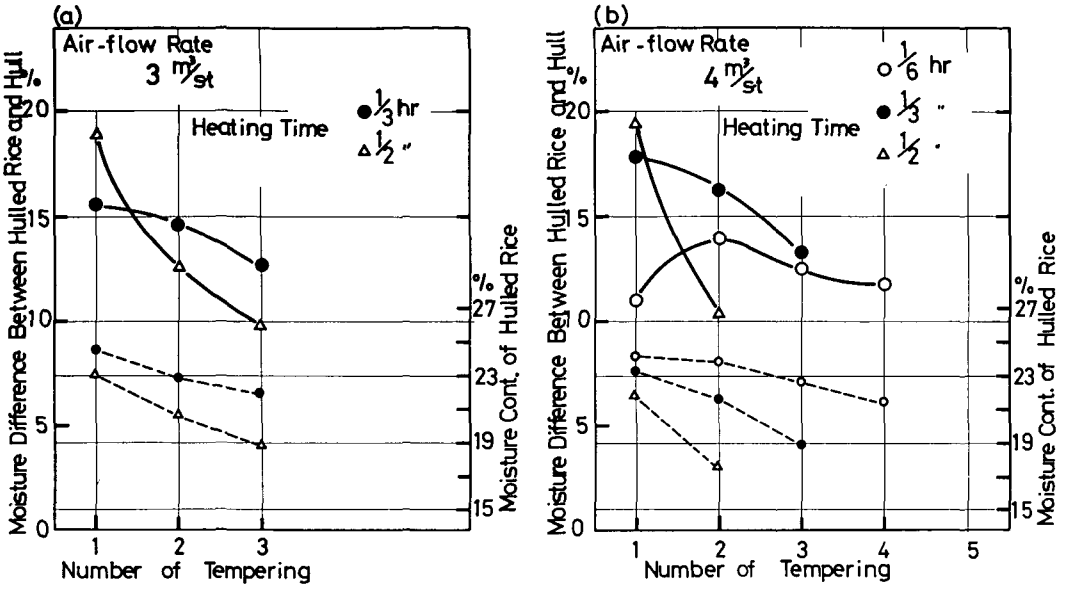

Fig. 5-25. Relation between drying conditions and moisture difierence of hull rice and hull.

急速に上昇するので，乾燥の初期から長時間のテンパリングを行なう必要があり，乾燥の中期および終期にはテンパリング時間を延長してもみの温度を調整する配慮が必要である。

2. テンパリング期間中のもみ粒子間空気の温湿度変化

Fig. 5-26 は通風量 3 m³/s.t，通風時間 1/2 時間，テンパリング時間 6.0 時間なる実験条件において第1回目の

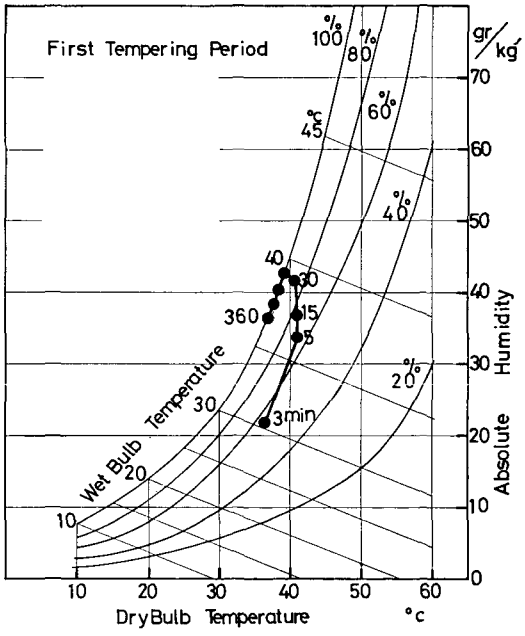

Fig. 5-26. Humidity change during tempering period.

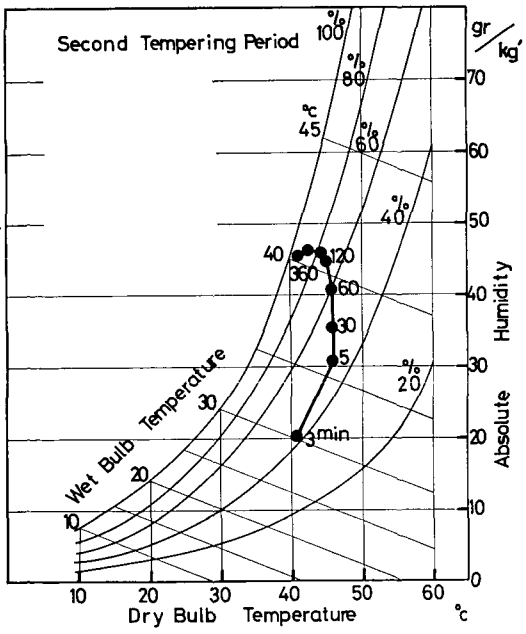

Fig. 5-27. Humidity change during tempering period.

テンパリング期におけるテンパリングタンク内もみ粒子間空気の温湿度変化を湿り空気線図上に示したものである。テンパリング開始直後における空気温度は37°C，相対湿度は58%，絶対湿度は0.023 kg/kg′であった。テンパリング時間の経過に伴ってもみ粒子間空気の湿度は増加し，テンパリング開始後，約100分間で飽和に達した。飽和に達したもみ粒子間空気の温度はテンパリングタンク外壁からの放熱によって露点温度以下に徐々に低下する（テンパリングタンク周囲空気の平均温度は23°Cであった）。

したがって空気中の水分は結露し絶対湿度は低下する。低下した絶対湿度分の水分，すなわち結露水はもみの表面，テンパリングタンク内壁面などに析出する。

Fig. 5-27 は上述の実験における第2回目テンパリングにおける測定結果を示すものである。テンパリング開始時におけるもみ，玄米，籾の水分はそれぞれ19.4, 21.7, 8.8% であった。玄米水分が比較的低く，籾も乾燥しているため6時間のテンパリングを行なっても，もみ粒子間空気は飽和に達せず，テンパリング終了時において相対湿度は86% を示した。このようにテンパリング期間中のもみ粒子間空気の温湿度は乾燥経過によって変化することを知った。

Table 5-3. Humidity of air space during tempering period

No.	Rate of air flow (m^3/s.t)	Heating time (hr)	Tempering time (hr)	1st time	1st %	2nd time	2nd %	3rd time	3rd %	4th time	4th %
1	3	1/6	1.5	15	100	90	100	—	97	—	97
2			3.0	15	100	60	100	120	100	—	98
3			4.5	10	100	60	100	240	100	—	85
4		1/3	1.5	60	100	—	90	—	87	—	90
5			3.0	60	100	120	100	—	95	—	90
6			4.5	65	100	180	100	—	97	—	90
7			6.0	60	100	120	100	—	96		
8		1/2	3.0	100	100	—	96	—	94		
9			4.5	85	100	—	96	—	93		
10			6.0	90	100	—	96	—	90		
11	4	1/6	1.5	45	100	90	100	—	95	—	95
12			3.0	45	100	90	100	—	98	—	90
13			4.5	45	100	90	100	—	95	—	95
14			6.0	45	100	120	100	—	98		
15		1/3	3.0	90	100	150	100	—	85		
16			4.5	90	100	270	100	—	80		
17			6.0	90	100	270	100	—	80		
18		1/2	3.0	180	100	—	90				
19			4.5	140	100	—	92				
20			6.0	140	100	—	92				

Table 5-3 に各テンパリング期におけるもみ粒子間空気が飽和に達するまでの所要時間および到達最高相対湿度を示す。本表より，第1回目のテンパリングにおいては玄米水分が比較的高く，もみ温度が低いため，それぞれの実験条件下で飽和に達しており，通風量が多く，通風時間が長いほど飽和に達するまでに要する時間が長くなることを知った。

第2回目のテンパリングにおいてテンパリング時間が短かいほど飽和に達するまでの時間は長くなり，通風量が多く，通風時間が長い場合は飽和に達しない事例も生じた。

第3回目のテンパリングにおいて，通風時間 1/6 時間以外の全ての乾燥条件下では飽和に達しなかった。このようにテンパリング期間中のもみ粒子間空気の温湿度を測定すれば，玄米から籾への水分移行の状態をうかがい知ることができる。乾減率の増大を計る観点から考察す

ればテンパリングは少なくともも み粒子間空気が飽和に達するまで行なうことが好ましいと考えられる。

しかし，テンパリングを長時間行ない，もみ温度を調整して胴割れ粒の発生等を抑制できたとしてもテンパリング期間中にもみ温度が過度に低下した場合はテンパリングタンク内に多量の結露水が生じ，これが原因で醗酵

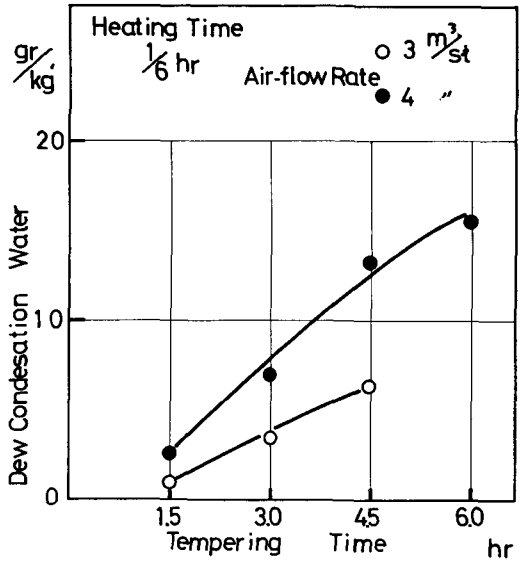

Fig. 5-28. Relation between drying conditions and dew condesation water.

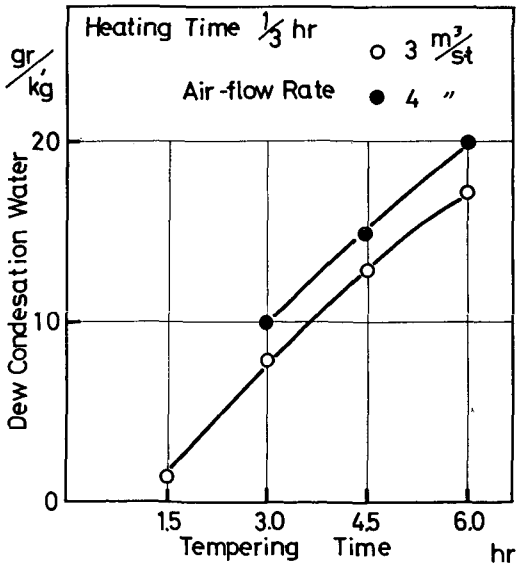

Fig. 5-29. Relation between drying conditions and dew condesation water.

米あるいは高脂肪酸玄米のごとき化学的，生物学的な品質の低下を招く可能性が考えられるので十分注意を払う必要がある。

次に乾燥条件と結露水との関係について検討する。

Fig. 5-28～Fig. 5-30 は通風時間はそれぞれ 1/6, 1/3, 1/2 時間とした場合，各テンパリング期に発生する結露水の平均量とテンパリング時間および通風量との関係を示すものである。通風量が多く，通風時間が長い場合，テンパリング時間を延長すれば結露水も増加することを知った。このように結露水の発生は乾燥経過および乾燥条件によって影響を受け，特にもみ水分が比較的高く，もみ温度の変動が大きい場合に生ずる。もみ温度の変動を最小限に止める方法としては，結露水の多量発生が予想される場合にテンパリングの時間を短縮する方法およびテンパリングタンクに十分な断熱処置を講ずる方法等が考えられる。しかし，前者の方法は，例えば乾燥機とテンパリングタンク群とを組み合わせて操業を行なっている共同乾燥施設におけるもみの円滑な搬送を乱す原因となり，作業能率の低下を招く結果になる。

又，個人用のテンパリング乾燥機の場合，テンパリング時間は乾燥機に張り込んだ生もみの量および初期水分によって相関的に定められるもので，同一乾燥工程中にテンパリング時間を適宜に変えることは困難である。

後者の方法は乾燥が進行し，もみ温度が上昇した場合にもみ温度の調整に難点がある。したがってテンパリン

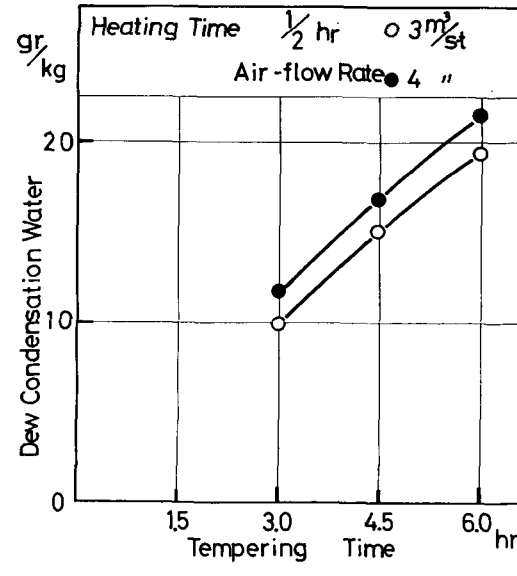

Fig. 5-30. Relation between drying conditions and dew condensation water.

グ時間は乾燥期全般を通じて一定とせざるをえなく，テンパリング時間の設定は専ら品質保全の立場から，もみ温度を目安にして行なわれている。

この場合，気象条件等の原因でもみ温度が極端に低下し，多量の結露水の発生がさけられない場合の対策として，テンパリングタンクへ通風を行なうことが考えられる。テンパリングタンクへ送る空気の温度を調整することによって，もみ温度を適切に調整し，結露水の発生を防止するとともに，ある程度もみの乾燥も期待できる。

今，テンパリングタンクに通風を行なった場合，どの程度もみの乾燥が進行するかを試算してみる。

テンパリングタンクへの通風は各テンパリング期間中に各1回とし，通風によるもみからの水分蒸発はないものと想定する。したがって通風によってテンパリングタンク内のもみ層から取り去ることのできる水分はテンパリング期間中のもみ粒子間空気の最高絶対湿度とテンパリング開始時におけるもみ粒子間空気の絶対湿度との差に相当する水分となる。

Table 5-4. Amount of evaporated moisture by ventilating to tempering thank.

No.	Air flow rate (m^3/s.t)	Heating time (hr)	Tempring time (hr)	Amount of evaporated moisture by ventilaning (A) (kg/ton)	Amount of evaporated moisture by heating (B) (kg/ton)	A/B×100 (%)
1	3	1/6	1.5	0.126	148.160	0.15
2			3.0	0.133	119.699	0.11
3			4.5	0.137	132.170	0.10
4		1/3	1.5	0.142	134.170	0.11
5			3.0	0.141	135.464	0.10
6			4.5	0.141	142.404	0.10
7			6.0	0.156	122.406	0.13
8		1/2	3.0	0.141	136.640	0.08
9			4.5	0.101	138.758	0.07
10			6.0	0.111	127.111	0.09
11	4	1/6	1.5	0.231	140.640	0.16
12			3.0	0.181	119.670	0.15
13			4.5	0.189	134.857	0.14
14			6.0	0.164	129.817	0.13
15		1/3	3.0	0.131	130.640	0.10
16			4.5	0.110	142.404	0.08
17			6.0	0.124	130.640	0.09
18		1/2	3.0	0.120	137.816	0.09
19			4.5	0.126	130.640	0.10
20			6.0	0.068	137.699	0.05

各テンパリング期に1回通風を行なった場合，取り去ることのできる水分量を試算した結果を Table 5-4 に示す。この結果，もみ1トン当り全テンパリング期間を通じてたかだか 200 gr 程度の脱水量にすぎず，この量は初期水分 26% 前後の生もみを 15% の仕上がり水分まで乾燥する場合の所要総脱水量の 0.16% にすぎない。しかし数回にわたってテンパリングタンクに通風を行なえば，実際はもみからの水分蒸発が行なわれるので，上記の脱水量よりさらに多量の脱水が行なわれるものと推察される。

なお，テンパリングタンクに通風する際の注意事項として，もみ温度を過度に低下させると次の通風期の初期に乾燥の予熱が必要となるので乾減率が低下し，さらに胴割れを発生する可能性もある。したがってもみ温度の過度な低下は当然避けなければならない。

3. 通風期間中の排気の温湿度変化

Fig. 5-31 は通風量 3 m³/s.t, 通風時間 1/6 時間, テンパリング時間 3 時間における第 1 および第 2 回目通風期における排気の温湿度変化を湿り空気線図上に示したものである。第 1 回目通風期において, もみ水分が比較的高いため排気の相対湿度は高く, 通風期全般を通じて 50～100% の範囲内で推移している。

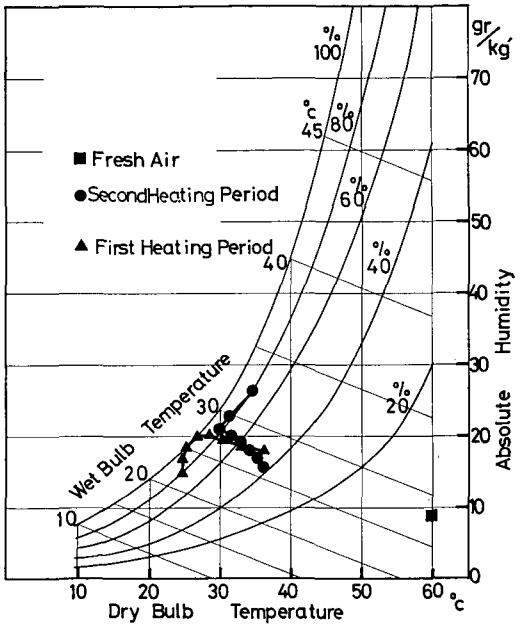

Fig. 5-31. Humiditiy change during heating period.

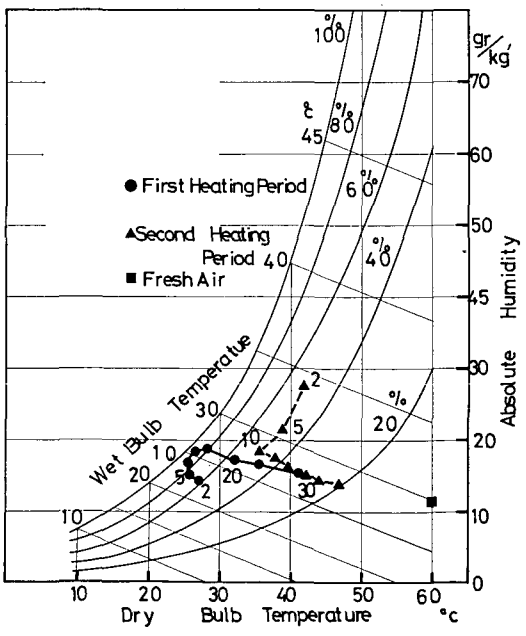

Fig. 5-32. Humidity change during heating period.

第 2 回目通風期において, 通風期のごく初期 (0～3 分) に高い絶対湿度を有する排気が排出されるが, これはテンパリング期間中に玄米から籾へ移行した水分および籾からもみ粒子間空気へ移行した水分が排出されたことによるものである。

Fig. 5-32 は通風量 4 m³/s.t, 通風時間 1/2 時間, テンパリング時間 3 時間における第 1 回目および第 2 回目通風期の排気の温湿度変化を示すものである。温湿度変化の傾向は Fig. 5-31 に示したものと同様であるが, 通風量が多く, 通風時間が長いため通風期後期における相対湿度および絶対湿度の低下が顕著である。

次に, 排気の絶対湿度と乾燥条件および乾燥経過との関係を検討する。

Fig. 5-33 は通風量 3 m³/s.t, 通風時間 1/6 時間, テンパリング時間を 3 時間にした場合における排気の絶対湿度およびもみ水分の変化を示す。通風量が比較的少なく, 通風時間が短かいため, 第 1 回目の通風期における排気の絶対湿度は通風時間の経過にしたがって増加する傾向を示し, 乾燥の予熱期に相当することを知った。

第 2 回目の通風期の初期に絶対湿度の立ち上がり現象をみとめることができる。これは既述したごとく, テンパリング期間中のもみ内部から籾およびもみ粒子間空気への水分移行に起因した現象であり, テンパリング効果を如実に示している。Fig. 5-34 に通風量 4 m³/s.t, 通風時間 1/2 時間, テンパリング時間 3 時間における例を示す。傾向は Fig. 5-33 と同様であるが通風量が多く, 通風時間が長いため, もみの乾燥が進行し第 2 回目以後の通風期における排気の絶対湿度の低下度合が大きいことが特徴的である。

乾減率を高める見地から考察すれば通風期における排気の絶対湿度が長時間にわたって高い値を示すような乾燥条件を設定することが望ましい。そこで各通風期における排気の絶対湿度の低下度合を定量的に表わす方法を検討する。ここではまず各通風期における全蒸発水分量の 50% が蒸発し終える時点が通風期のどの時点であるかを検討することとする。

蒸発水分の算出は Fig. 5-33, Fig. 5-34 に示すごとく, 排気の絶対湿度曲線と入気の絶対湿度線とによって囲まれる部分の面積を通風時間 5 分間ごとにプラニメータで測定して求めた。Fig. 5-35 に通風量 3 m³/s.t, 通風

時間 1/6 時間，テンパリング時間 3 時間の場合における水分蒸発量の累積パーセントを示す。

図より通風期において全蒸発水分量の 50% が蒸発し終える時点は第 1 回目の通風期から第 5 回目の通風期まで通風開始後それぞれ 8.0, 3.0, 2.5, 2.5 分であることを知った。このように第 1 回目の通風期以外の通風期において，通風期の前半に大部分の水分蒸発が行なわれていることを知った。

Table 5-5 に上述のごとくして求めた 50% 水分蒸発所要時間を % で表わしたものを示す。この場合通風時間 1/3 時間で所要時間 35% とは (20 分間×0.35=7.0 分間)，すなわち通風開始後 7 分間で通風期に蒸発する全水

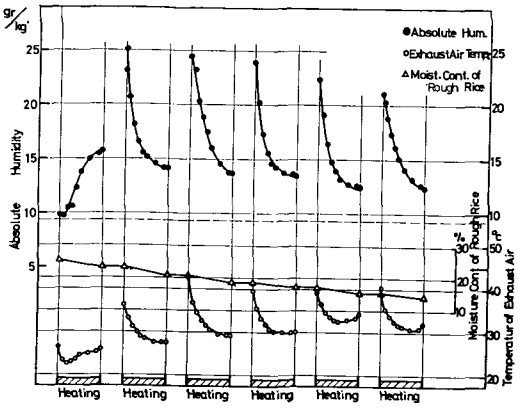

Fig. 5-33. Absolute humidity of exaust air during heating period.

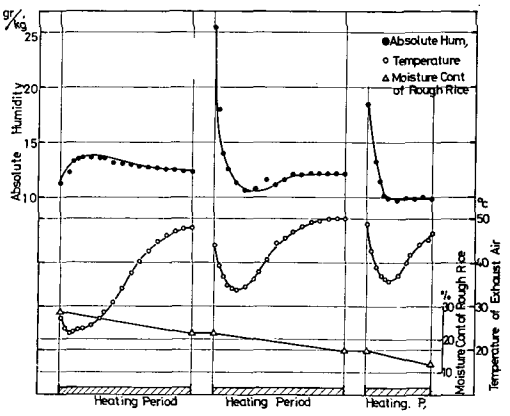

Fig. 5-34. Absolute humidity of exaust air during heating period.

Table 5-5. Time requied for 50% moisture evaporation

No.	Air flow rate (m^3/s.t)	Heating time (hr)	Tempering time (hr)	Time (%) 1	2	3	4	5
1	3	1/6	1.5	78	45	29	20	20
2			3.0	80	40	29	25	25
3			4.5	80	40	30	25	25
4		1/3	1.5	62	25	20		
5			3.0	60	35	25		
6			4.5	60	30	26		
7			6.0	65	38	25		
8		1/2	3.0	55	26			
9			4.5	56	29			
10			6.0	55	30			
11	4	1/6	1.5					
12			3.0	75	25	15	10	
13			4.5	67	24	20	22	
14			6.0	70	30	35	30	
15		1/3	3.0	53	33	17		
16			4.5	58	35	18		
17			6.0	53	40	20		
18		1/2	3.0	45	20			
19			4.5	47	23			
20			6.0	48	27			

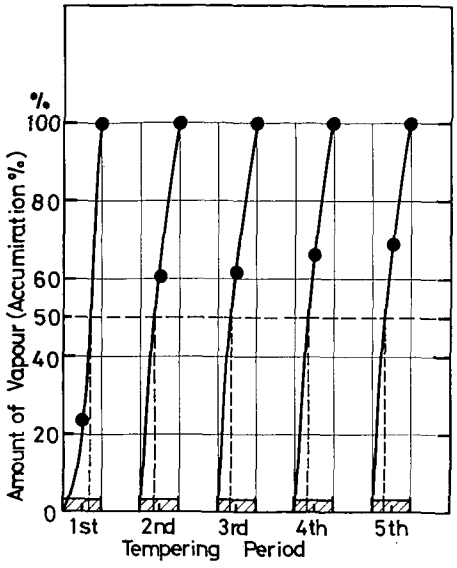

Fig. 5-35. Amount of vapour during tempering period.

分の50%を蒸発することを意味している。

第1回目の通風期における50%水分蒸発時間は通風量4 m³/s.t, 通風時間1/2時間以外の乾燥条件下で通風時間の50%以上を要している。

なお，通風量が多く，通風時間が長いほど所要時間が短縮されることを示している。これは通風量が多いほど乾燥の予熱期が短かくなり，通頃期の前半に水分蒸発がさかんに行なわれ，又通風時間が長いほど通風期後半における水分蒸発量が減少することと相俟って50%水分蒸発時点が通風期の前半へと移行するためである。

第2回目以後の通風期において，水分蒸発は通風期の初期に急速に行なわれるため，乾燥条件にかかわりなく50%水分蒸発時間はいずれも通風時間の50%以下である。なお，テンパリング時間を延長した場合，所要時間が多少延長されることを知った。これはテンパリング期間中に玄米内部から玄米表層部へ水分移行が行なわれるために通風期において比較的長時間にわたって高い乾燥速度を保持したことを意味している。

第3節　要　　約

本章において，合理的な乾燥条件を見い出す目的で，比較的高水分もみを試料として，通風条件とテンパリング時間を適宜組み合わせて乾燥条件を設定して行なった実験の結果を述べた。これを要約すると以下のごとくなる。

① 乾燥条件と乾減率との関係についてはまず，通風条件と乾減率とは第III, IV章に述べたごとく通風量の増加および通風時間の短縮によって乾減率が増加することを再確認した。さらに乾減率はテンパリング時間の延長に伴って増加し，その増加率は通風量が多く，通風時間が短かい場合に大きいことを知った。しかし，テンパリング時間の延長による乾減率の増加は3～4.5時間で停止し，通風時間が短かい場合はさらにテンパリング時間を延長すると乾減率は減少することを知った。これはテンパリング期におけるもみ温度の低下によって通風期の初期に乾燥の予熱期が繰り返されることに起因するものと考えられる。

② 乾燥条件と仕上がりもみの品質との関係を検討した結果，品質はもみの最高温度と強い相関関係があることを確認した。すなわち，テンパリング時間を適宜設定して，最高もみ温度を39～41°C程度に保つよう心がければ品質低下をさけることができることを知った。

③ テンパリング効果の検討を，i) 玄米から籾への水分移行量の算出，ii) 排気の温湿度変化の測定，iii) もみ粒子間空気の温湿度変化の測定，以上3項目について行なった。その結果，テンパリング効果は乾燥条件および乾燥過程によって変化することを知った。したがってテンパリング時間は乾燥条件および乾燥過程に対応させて変化させることが好ましい。しかし，実際の乾燥作業においてテンパリング時間を乾燥過程に対応させて変えることは運営上困難であるため，乾燥過程中は一定にせざるをえない。この場合，テンパリング時間の設定はもっぱら品質保全の立場からなされなければならない。この際，問題になるのが乾燥の初期にテンパリングタンク内に生ずる可能性のある結露水についてである。この発生を防ぐ一つの方法として，テンパリング期間中のテンパリングタンクに通風を行なうことが考えられる。テンパリングタンクへ通風を行なうことによって結露水の発生を防止することができ，さらにもみ温度の調整も可能となり，又わずかながらテンパリング期間中のもみ水分の乾減も期待できる。しかし，テンパリング期間中のもみ温度を過度に低下させると次の通風期の乾減率を低下させることになり，胴割れ発生の可能性もあるので過度の温度の温度低下は当然避けなければならない。

第VI章　テンパリンゲ時間を変えた場合の循環式テンパリング乾燥に関する実験

第1節　実験目的および実験方法

A. 実験目的

第 III～V 章において，回分式テンパリング乾燥における乾燥条件と乾減率および乾燥仕上がりもみの品質との関係について述べ，さらにテンパリング効果の解析も合わせて行なった。本章では個人所有の小型乾燥機および共同乾燥施設における乾燥機に広く採用されている循環式テンパリング乾燥方式における合理的な乾燥条件を見い出すことを目的とし，循環式実験装置を試作し，これを用いて実験を行なったのでその結果を述べる。

B. 実験装置の概要

試作した実験装置の概略を Fig. 6-1 に示す。

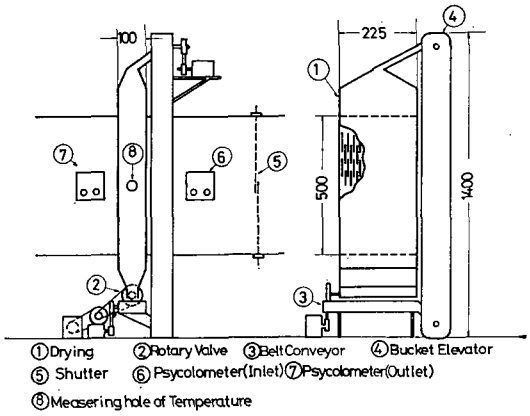

Fig. 6-1. Eexperiment apparatus.

1. 乾 燥 部

現在，広く普及している循環式テンパリング乾燥機の乾燥部を形状別に分類すると，① L. S. U. 型（山型多管型），② バッフル型，③ スクリーン型の 3 種類になる。このうち，スクリーン型は構造が簡単で故障が少なく，保守が容易であるという特長が認められ，個人用乾燥機に広く用いられている。また秋田県大潟村に設置されているカントリエレベータの乾燥機も全てスクリーン型を採用している。ただし，スクリーン型乾燥機は非混合型に属するのでもみ充填層の入気側と排気側との間に乾燥むらが生じ，比較的胴割れを生じやすいとされている。この不都合を無くすために，スクリーン間隔を狭めたり乾燥条件を適宜配慮する必要がある。

なお，スクリーン間隔を決定する際は，もみの流下を阻害しないように総合的に考慮しなければならない。現在，市販されているスクリーン乾燥機のスクリーン間隔は Table 6-1 に示すごとく 100～200 mm の範囲内にあり，100～150 mm のものが過半数を占めている。これらの点，並びに八郎潟干拓地において筆者等が行なった実験等を考慮して，試作乾燥装置のスクリーン間隔を 100 mm とした。

Table 6-1. Specification of commercial screen type dryer

Name of maker	Distance of screen (mm)	Number of paddy layer
Ka	100	2～4
Ka	150	2
M	200	2
N	200	2
O	100	2
S	120	4

スクリーンの形状は実験風洞の構造上の制約によって縦 500 mm，横 225 mm とした。したがって乾燥部の容積は 11.25 ℓ である。

スクリーンの材質は板厚 2 mm の真鍮板とし，これに Fig. 6-2 に示すごとく，長さ 25 mm，幅 2 mm のスリッ

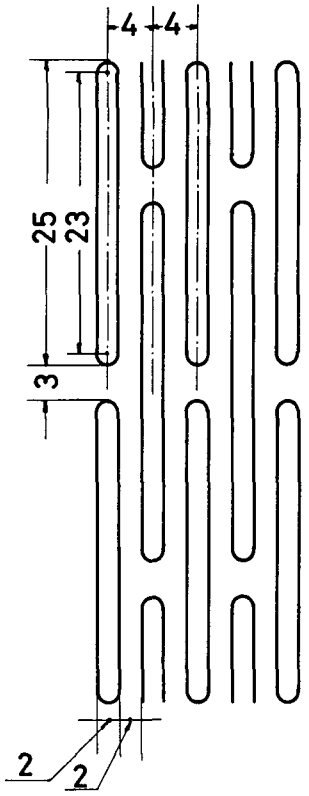

Fig. 6-2. Screen.

トを4 mmのピッチで千鳥目状に917個穿った。なお，スクリーンの開孔率は44.3%である。

2. 搬送部

搬送部はロータリバルブ，ベルトコンベア，およびバケットエレベータより成っている。搬送部の設計および試作に先立ってもみの循環速度を規定した。循環速度は試作の乾燥むらを少なくするとともに，循環による機械的損傷を可及的に防止するよう考慮し，乾燥機に張り込まれたもみを2.5分間で1循環させることとした。今，供試試料のかさ比重量が550 gr/ℓ (水分26%において)であるので乾燥部に張り込まれる試料の重量は約6.2 kgである。これに乾燥部上部のコンデンス部および乾燥部下部のホッパー部に張り込まれるもみを加えると合計約8 kgとなる。したがってもみの循環速度は8/2.5=3.2 kg/分となる。

a. ロータリバルブ

もみ排出用ロータリバルブは4枚羽根とし，有効長220 mm，羽根先端直径44 mmとした。ロータリバルブの排出効率を60%と見込み，もみのかさ比重量を550 gr/ℓとすると，ロータリバルブ1回転で排出されるもみ重量は89 grとなり，循環速度3.2 kg/分を満足させるにはロータリバルブの回転数を36 R.P.M.にすれば良いことを知った。しかし，ロータリバルブからのもみの排出速度はもみ水分，夾雑物の混入程度によって大幅に変動する可能性があるため，ロータリバルブと駆動用モータ(100 V, 100 W)との間に無段変速機(三木プーリ製：LA-100型)を組み入れ，ロータリバルブの回転数を15～45 R.P.M.の範囲内で調節することができるようにした。ロータリバルブとケーシングとの頂間隔(チップクリアランス)はもみの機械的損傷を防ぐために，もみ粒の厚みを考慮して3 mmとした。

b. ベルトコンベア

ベルトの幅およびベルト速度は，ロータリバルブから排出されるもみの量，およびもみの安息角を考慮して求めた。その結果，ベルト幅70 mm，ベルト速度2450 mm/分とした。今，ベルト駆動輪の直径を40 mmとすると駆動輪の回転数は195 R.P.M.となる。ベルトコンベアの駆動は変速モータ(100 V, 100 W)とVベルトおよびVプーリを組み合わせて行なった。

c. バケットエレベータ

バケットエレベータの型式は遠心排出型とした。バケット1個の容積を20 cm³，ピッチを70 mmとすると揚穀高は1400 mmであるのでバケットの個数は57個となる。今，バケットのすくい込み効率を60%と見込むともみを3.2 kg/分搬送するために，バケット速度を2370 mm/分にする必要がある。バケットエレベータ駆動輪の直径を100 mmとしたので駆動輪の所要回転数は76 R.P.M.となった。バケットエレベータは搬送部においてトラブルの発生が最も多い部分であり，さらに実験に際して乾燥部への試料張り込み時間の短縮を計る目的で，バケットエレベータ駆動輪の回転数を195 R.P.M.とした。駆動は100 V, 100 Wのモータおよび Vベルト，Vプーリを組み合わせて行なった。

3. その他

通風量の調節は入気導風路(Fig. 6-1参照)に取りつけたスライドシャッタを開閉して行なった。なお本実験において通風量の微少な調節を可能にするために風洞に設置してある送風機と駆動用モータとの間に無段変速機(三木プーリ製：HC-2143型)を組み入れた。

C. 実験方法

1. 試作実験装置の較正試験方法

試作実験装置の較正試験は，① もみ循環速度の測定，② 循環によるもみの機械的損傷の測定，の2点を中心にして無通風状態で行なった。

①については各種の水分に調整した試料を用いロータリバルブの回転数ともみの循環速度との関係を求めた。

②についてはロータリバルブの回転数を設定回転数に合わせ，乾燥仕上がりもみ，および加水もみを約2時間連続循環させた後，胴割れ率，脱稃率，砕粒率についてそれぞれ測定した。

2. 実験条件の設定

第II～第V章に述べた回分式テンパリング乾燥実験の結果を参考にし，通風温度を一律に60°Cとして Table 6-2 に示すごとき実験条件を設定した。表に示す通風時間は乾燥部において，もみが通風に接する正味通風時間を意味するものであり，供試実験装置はその構造上もみが一循環(2.5分間)中に通風に接している時間は1.4分間である。したがって，通諸時間1/6時間(10分間)の場合の循環時間は17.9分間，通風時間1/3時間(20分間)

Table 6-2. Experiment conditions

Heating time (hr)	Air flow rate (m³/s.t)	Tempering time (hr) 1.5	3.0	4.5	6.0
1/6	3	○	○	○	—
	4	—	○	○	○
1/3	3	○	○	○	○
	4	—	○	○	○

の場合の循環時間は35.7分間となる。

さらに，本実験においてテンパリング期間中のもみの保持状態を実用の乾燥機における状態に可及的に近づけるためにテンパリング期間中におけるもみ温度の推移に注目し，もみ温度が過度に低下するきざしをみとめた場合には，テンパリングタンクを風洞内に移し，風洞内の余熱でもみ温度の恵変を防ぐように配慮した。

3. 測定項目および測定方法

a. もみ水分の測定

もみの初期および乾燥仕上り時水分は標準法（105°C, 24時間炉乾法）によって求めた。乾燥過程中のもみ水分は乾燥機への張り込み時および排出時に試料を採取し，これを電気抵抗式水分計（ケット科学製：SP-1型）を用いて測定した。電気抵抗式水分計の一般的傾向として，試料の高水分域において水分計の指示値と標準法による水分値との格差が漸増するため，本実験に先立ち，水分計の較正試験を行ない，Fig. 6-3 に示す較正線図を求めて水分計の指示値を補正した。水分測定に際しては，5回反復を行ないその平均値をもって水分値とした。

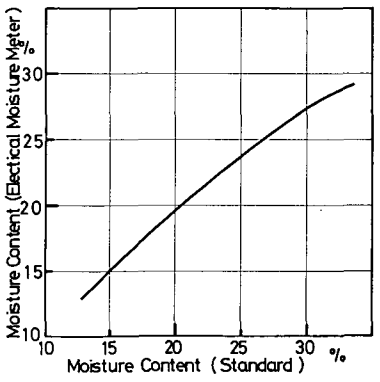

Fig. 6-3. Calibration curve for moisture meter.

実験は第III～第V章に述べた通りもみ水分が15%に到達した時点を乾燥終期とし，乾減率および品質を測定した。

b. 温湿度および通風量等の測定

通風期間中における入気および排気の温湿度は第V章に述べたと同様の方法で測定した。また，テンパリング期間中のもみ粒子間空気の温湿度およびもみ温度は第V章で述べよと同様のテンパリングタンク用湿度計を用いて測定した。

通風量はスクリーン直前（入気側）において熱線風速計を用いて風速を測定し，温度補正を行なって算出した。さらに乾燥部の入気および排気側の静圧をU字管を用いて測定した。

c. 仕上がりもみの品質測定

仕上がりもみの品質測定項目および測定方法は第V章に述べたものと同様である。

D. 供試材料

1. 試作実験装置の較正試験に供試した材料

較正試験に供した材料は，① 水分14.6%の乾燥仕上がりもみ（第V章で述べた実験に用いた後，約11カ月貯蔵したもの）。② 水分19.5%の比較的低水分生もみ。③，② の試料に加水操作を施し平均水分26.1%に調整したもみ。以上3種類のもみを用いた。② に示した生もみは1969年長沼町産の「しおかり」であり，同年10月14日，普通型コンバイン（クレーソン：M 135型）で収穫した後，P袋に入れて研究室に搬入し，これをビニール袋に小分けして直ちに0±0.5°Cの温度に調整された保蔵庫内に貯蔵したものである。Table 6-3 に供試生もみの初期組成および初期水分値を示す。供試生もみは被害粒が少なく，精粒率は90%弱を示し比較的性状良好であることがうかがえる。しかし，圃場における乾燥が急速に行なわれたことが原因となり脱稃粒が比較的多かった。なお，供試生もみの初期胴割れ率は0%，軽胴割れ

Table 6-3. Consititution and initial moisture content of samples (Natural)

No.	Winnowed grain (%)	Ear-breaking grain (%)	Damaged grain (%)	Hulled grain (%)	Empty grain (%)	Inert matter (%)	Moisture content (%)
1	87.5	3.57	0.10	3.55	4.17	0.50	19.7
2	90.65	3.70	0.85	4.25	2.05	0.51	19.6
3	88.90	4.00	0.21	3.76	2.05	0.46	19.4
4	88.71	3.38	0.28	3.76	2.67	0.45	19.3
Average	88.94	3.66	0.36	0.83	2.73	0.48	19.5

率は0.5%（手むき，400粒）であった。

③に示した加水操作は次のようにして行なった。すなわち，供試生もみを水道水（水温：11°C）に約30分間浸漬した後，充分水切りを行なって，これをビニール袋に密封し0±0.5°Cに温度調整した保蔵庫内で約10日間キュアリングを行なった。

2. 供試材料

乾燥実験には高水分生もみを用いる予定であったが降霜により，立毛中におけるもみ水分が20%程度に低下したため，加水操作を慎重に行なって26%程度に調整したものを用いた。加水調整後のもみの組成および水分を Table 6-4 に示す。

Table 6-4. Consititution and initial moisture content of samples (Adding water)

No.	Winnowed grain (%)	Ear-breaking grain (%)	Damaged grain (%)	Hulled grain (%)	Empty grain (%)	Inert matter (%)	Moisture content (%)
1	90.00	3.42	0.21	4.91	1.10	0.26	25.8
2	91.16	3.65	0.40	4.70	0.50	0.10	27.6
3	89.63	3.43	0.45	5.16	0.60	0.00	26.5
4	90.57	3.93	0.50	4.63	0.12	0.56	24.5
Average	90.34	3.61	0.39	4.85	0.58	0.23	26.1

第2節　実験結果および考察

A. 実験装置の較正試験

1. もみの循環速度

Fig. 6-4 にロータリバルブの回転数ともみ循環速度との関係を示す（図中の A～C はそれぞれ，乾燥仕上がりもみ，水分19%台の生もみ，および水分26%台の加水もみ，についてのものである）。なお本図からもみ循環速度はもみ水分によって変化することを知った。したがって乾燥過程中におけるもみ循環量を一定に保つにはもみ水分の変化に対応させて，ロータリバルブの回転数を調節する必要があるが，これは技術的に困難であり，かつ実用的でないことから考慮して乾燥過程中におけるロータリバルブの回転数はこれは一定に保つことにした。

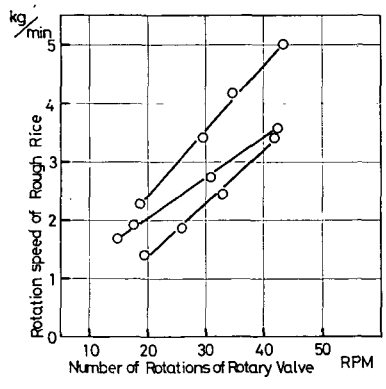

Fig. 6-4. Performance of rotary vavle.

本実験においては26%台の加水もみを毎分3.2 kgの速度で循環させるようにロータリバルブの回転数を40 R.P.M. に調整した。したがって乾燥の進行に伴って循環速度は増すが一通風期における正味通風時間は循環速度の変動とは無関係に一定値を示す。

2. 循環によるもみの機械的損傷

Table 6-5 は乾燥仕上がりもみ，Table 6-6 は加水もみについてそれぞれ循環の前後に測定した機械的損傷の状況を示すものである。乾燥仕上がりもみの場合について検討すると，胴割れ率，軽胴割れ率および砕粒率に対し，循環による影響はほとんど認られない。なお，循環時間は約2時間，循環回数はほぼ48回である。ただし，脱稃率は循環前に2.6%であったものが循環後に4.3%に増加した。これは供試もみが乾燥仕上がりもみであり，比較的脱稃しやすい状態にあったためであると思われる。

Table 6-5. Mechanical damage by rotation (Dryed saples)

	Initial (%)	After rotation (%)
Cracking	1.0	0.5
Slight cracking	1.5	1.0
Broken grain	0.0	0.0
Hulled grain	2.6	4.3
Moisture content	14.6	14.5

Table 6-6. Mechanical damage by rotation (Adding water)

	Initial (%)	After rotation (%)
Cracking	0.0	0.5
Slight cracking	0.0	0.3
Broken grain	0.3	0.0
Hulled grain	4.9	4.7
Moisture content	26.1	25.3

次に，加水もみについて検討すると胴割れ率，軽胴割れ率，砕粒率および脱稃率はいずれも循環前後において増減まちまちであり，いずれの変動値もサンプリングのばらつきの範囲内におさまる程度であることを知った。したがって，循環による機械的損傷の発生は加水もみに対しても顕著でないことを確認した。以上の結果より，供試装置はもみの循環式乾燥実験装置として十分使用できるものと判定した。

B. 乾燥実験結果

1. 乾燥条件が乾減率におよぼす影響

Fig. 6-5 (a), (b) は通風温度を一律に 60°C とし (実測値は 57.6～63°C), 平均絶対湿度が 0.0104 kg/kg′ (0.0080～0.0140 kg/kg′) の空気を 3, 4 m³/s.t 通風した場合の乾燥条件と乾減率との関係を示すものである。図中に破線で示したのは第V章で述べた回分式テンパリング乾燥実験の結果である。循環式テンパリング乾燥実験の結果は回分式の場合と同様に，通風量が多く，通風時間が短かく，さらにテンパリング時間が長い程乾減率が増加する傾向を示した。さらに，循環式による乾減率を回分式のそれと比較すると，いずれの乾燥条件のもとにおいてもわずかに高い値を示している。本実験において，乾減率はテンパリング時間の延長に伴って増加，もしくは飽和状態を示し，回分式の場合のごとくテンパリング時間の延長に伴って低下する現象は認められなかった。

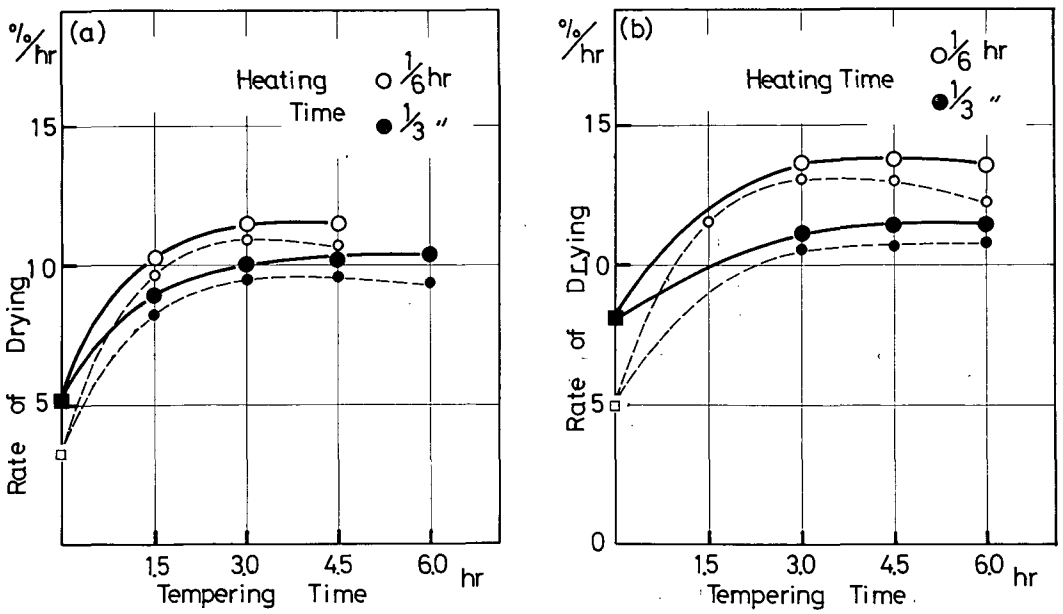

Fig. 6-5. Relation between drying conditions and rate of drying.

循環式による乾減率が回分式のそれをわずかに上回った原因の第1として，供試循環式乾燥範はスクリーン型でありながら循環中に通風期と無通風期 (搬送期) とを交互に繰り返す，いわゆる一部混合型の乾燥を行なっていること，第2に供試したもみは加水操作を施したものであること等が考えられる。したがって生もみを完全なスクリーン型乾燥機を用いて乾燥した場合は循環式および回分式乾燥方式との間には，乾減率に大きな差異は生じないと考えられる。したがって，第III～第V章で述べた回分式テンパリング乾燥方式で得られた乾減率を循環式テンパリング乾燥方式にも適用し得るものとみなされる。

なお，循環式乾燥実験において，テンパリング時間を延長することによって生ずる乾減率の低下現象が認めら

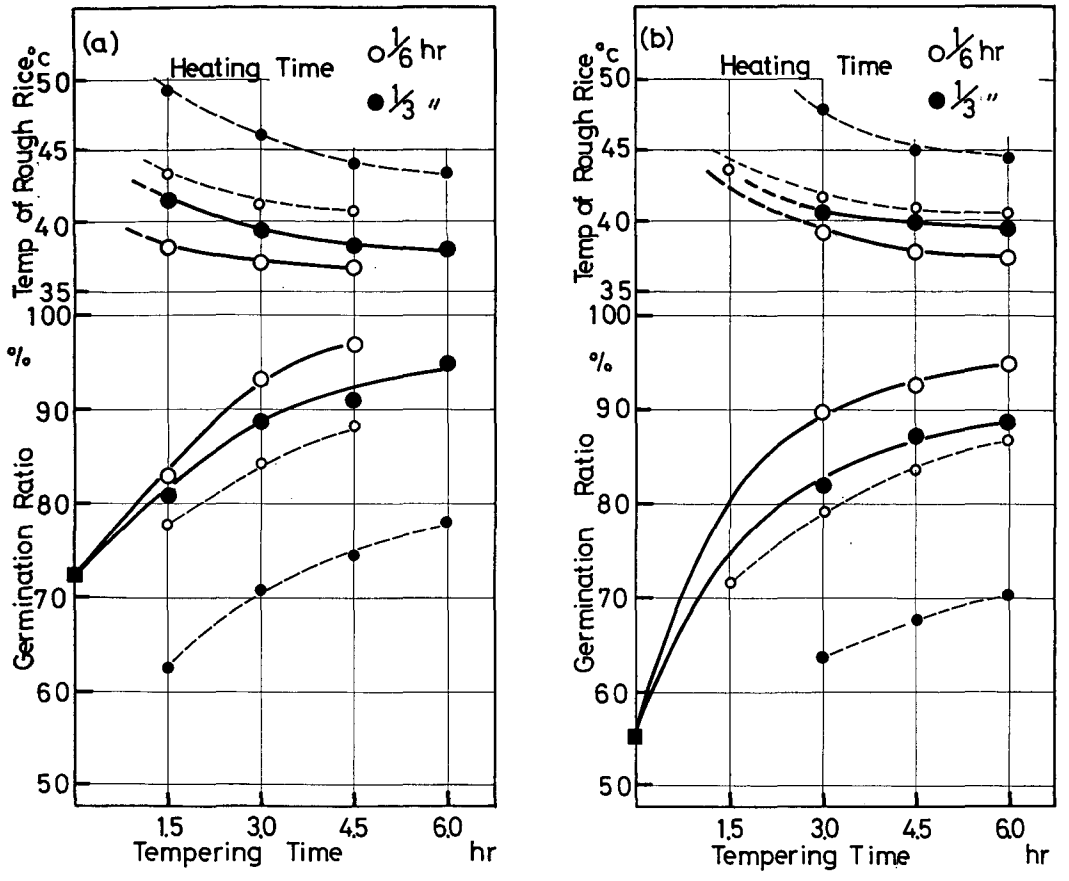

Fig. 6-6. Relation between drying conditions and cracking ratio.

れなかった理由として，テンパリング期間中にもみ温度の過度な低下を防ぐ配慮を行なったため，通風期における予熱期の発現がなかったか，もしくはごく軽微であったためと考えられる。

2. 乾燥条件が乾燥仕上がりもみの質におよぼす影響

a. 乾燥条件と胴割れ率との関係

Fig. 6-6 (a), (b) に通風量を 3, 4 m^3/s.t とした場合の乾燥条件と胴割れ率（乾燥仕上がり後48事外以上放冷したものについて測定）との関係を示す。なお，図中に細破線で示したのは，回分式乾燥方式による実験結果(乾燥仕上がり後48時間以上放冷したものについて測定)である。循環式乾燥方式の乾燥条件と胴割れ率との関係は回分式乾燥方式のそれとほぼ同様の傾向を示すことを知った。すなわち，通風量を増し，通風時間を延長し，さらにテンパリング時間を短縮するほど，胴割れ率は増加することを知った。循環式乾燥方式による胴割れの発生は同一乾燥条件下における回分式のそれよりも2～7%低い値を示している。この理由として，循環式乾燥方式の乾燥過程における最高もみ温度が回分式乾燥方式のそれよりも 3～8°C 低い値を示したことを挙げることができよう。これはもみの循環中に一部搬送期間が組み込まれるので，この期間にもみ温度の調整が行なわれることによるものと考えられる。さらに循環式乾燥方式はもみの混合，撹拌がなされるため，乾燥むらにもとずく胴割れの発生が少なかったことも理由の一つとして考えられる。

今，循環式乾燥方式において，胴割れ率を5%以下に抑制する通風条件とテンパリング時間との組み合わせを検討すると，通風量が 3 m^3/s.t の場合，通風時間 1/6 時間に対してテンパリング時間 1 時間以上，通風時間 1/3 時間に対して 2 時間以上必要となることを知った。

なお，通風量が 4 m^3/s.t の場合，通風時間 1/6 時間に対し，1.7 時間以上，通風時間 1/3 時間に対しては，4.5 時間以上のテンパリング時間が必要となり，これら乾燥

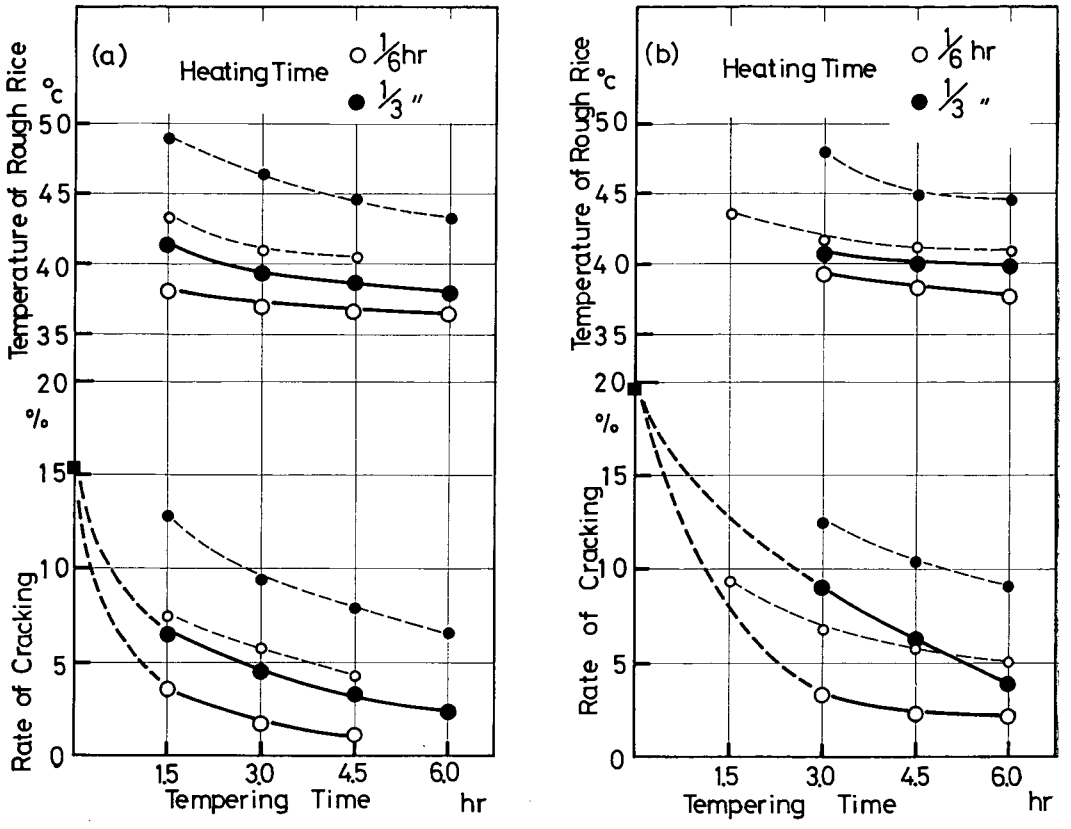

Fig. 6-7. Relation between drying conditions and germination ratio.

条件とテンパリング時間との組み合わせを回分式乾燥方式に適用すると胴割れ率は 10% 程度発生することを知った。したがって，回分式乾燥方式において胴割れ率が 10% 程度発生する乾燥条件を循環式乾燥方式に適用した場合，乾減率はほぼ同一値を示すが胴割れ率は 1/2 程度に減少することになる。

次にもみ温度と脊割れ率との関係を検討すると，もみ温度を常時 40°C 以下に保つように乾燥条件を適宜選択すれば胴割れ率を 5% 以下に保持することが可能であることを知った。

b. 乾燥条件と発芽率との関係

Fig. 6-7 (a), (b) は通風量を 3, 4 m^3/s.t とした場合，通風量を 3, 4 m^3/s.t とした場合，乾燥条件と発芽率との関係を示したものである。

図中に細破線で示したのは回分式乾燥方式による実験結果である。供試材料を室内において自然乾燥法で仕上げ乾燥した後の発芽率は 96.5% であった。

両乾燥方式において通風量が多く，通風時間が長く，さらにテンパリング時間を縮めるほど発芽率が低下する傾向を示しているが，同一乾燥条件下において循環式乾燥方式による発芽率は回分式のそれと比較して 5～20% 高値を示している。この理由は a. に述した理由と同様であるとみてよい。

次に，発芽率 80% 以上を保持するための乾燥条件を検討する。通風量 3 m^3/s.t の場合，通風時間 1/6 時間に対してテンパリング時間を 1 時間以上，通風時間 1/3 時間に対して 1.3 時間以上のテンパリングが必要となり，通風量 4 m^3/s.t の場合，通風時間 1/6 時間に対して 1.5 時間以上，通風時間 1/3 時間に対して 2.3 時間以上のテンパリングを行なう必要がある。

もみ温度と発芽率との関係を検討した結果，もみ温度を 40°C 以下に保持すれば発芽率を 80% 以上に維持することが可能であることを知った。

3. テンパリング効果の解析

a. テンパリング期間中のもみ粒子間空気の温湿度変化

Table 6-7 に各テンパリング期におけるもみ粒子間空気が飽和に達するまでの所要時間，到達最高相対湿度お

Table 6-7. Humidity chage of air space during tempering

No.	Air flow rate (m^3/s.t)	Heating time (hr)	Tempering time (hr)	Number of tempering	Requied time to sturate (min)	Maximum relative humidity (%)	Maximum temperature during tempering period (°C)	Temperature of end of tempering (°C)	Temperature depression (°C)
1	4	1/6	3	1	90 (45)	100 (100)	31.3 (39.8)	31.0 (38.8)	0.3 (1.0)
				2	— (90)	97 (100)	34.6 (43.9)	33.2 (41.6)	1.4 (2.3)
				3	— (—)	91 (98)	37.3 (45.7)	36.3 (42.4)	1.0 (3.3)
				4	— (—)	85 (90)	39.8 (46.2)	39.0 (42.0)	0.8 (4.2)
2	4	1/3	3	1	— (90)	97 (100)	36.5 (48.8)	34.7 (45.0)	1.8 (3.8)
				2	— (150)	94 (100)	40.0 (50.2)	38.9 (45.0)	1.1 (5.2)
3	4	1/6	6	1	90 (45)	100 (100)	34.4 (42.2)	34.5 (35.3)	0.0 (6.9)
				2	120 (120)	100 (100)	37.5 (45.2)	34.9 (36.0)	2.6 (9.2)
				3	— (—)	90 (98)	37.8 (46.0)	32.5 (36.9)	5.3 (9.1)
				4	— (—)	85 (85)	35.1 (47.3)	32.1 (37.2)	3.0 (10.1)
4	4	1/3	6	1	240 (90)	100 (100)	38.3 (48.9)	36.9 (40.2)	1.4 (8.7)
				2	120 (270)	100 (100)	36.7 (50.9)	36.1 (38.1)	2.6 (11.8)
				3	(—)	(80)	(51.2)	(40.2)	(10.0)
5	4	1/6	4.5	1	120 (45)	100 (100)	34.5 (41.0)	34.5 (38.3)	0.0 (2.7)
				2	120 (90)	100 (100)	35.6 (46.4)	33.6 (40.4)	2.0 (6.0)
				3	— (—)	90 (95)	35.2 (47.0)	35.1 (39.1)	0.1 (7.9)
				4	— (—)	85 (95)	38.2 (47.1)	38.0 (39.5)	0.2 (7.6)
6	4	1/3	4.5	1	90 (90)	100 (100)	37.9 (41.2)	37.0 (38.5)	0.9 (2.7)
				2	— (270)	90 (100)	39.9 (45.0)	34.3 (40.1)	5.6 (4.9)
7	3	1/6	1.5	1	60 (15)	100 (100)	27.1 (34.8)	27.1 (34.7)	0.0 (0.1)
				2	90 (90)	100 (100)	32.8 (37.4)	32.8 (37.4)	0.0 (0.1)
				3	— (—)	97 (97)	34.0 (40.6)	34.0 (40.5)	0.0 (0.1)
				4	— (—)	90 (97)	36.7 (43.5)	36.6 (42.6)	0.1 (0.9)
				5	— (—)	90 (96)	37.9 (43.8)	36.0 (43.0)	1.9 (0.8)
8	3	1/3	1.5	1	— (60)	97 (100)	32.0 (43.2)	31.8 (42.8)	0.2 (0.4)
				2	— (—)	90 (91)	36.0 (47.3)	35.9 (46.5)	0.1 (0.8)
				3	— (—)	80 (87)	37.9 (48.8)	37.2 (47.4)	0.7 (1.4)
				4	— (—)	(87)	(48.6)	(47.0)	(1.6)
9	3	1/6	3	1	120 (15)	100 (100)	29.5 (33.8)	29.5 (33.0)	0.0 (0.8)
				2	180 (60)	100 (100)	33.7 (39.3)	33.6 (35.5)	0.1 (3.8)
				3	— (120)	99 (100)	34.3 (39.8)	33.8 (37.7)	0.5 (2.1)
				4	— (—)	85 (98)	35.1 (39.0)	34.9 (38.6)	0.2 (0.4)
				5	— (—)	86 (97)	36.1 (39.0)	33.4 (35.6)	2.7 (3.4)
10	3	3	1/3	1	90 (60)	100 (100)	33.9 (41.4)	33.5 (38.6)	0.4 (2.8)
				2	— (120)	96 (100)	37.0 (46.2)	35.7 (41.8)	1.3 (4.4)
				3	— (—)	92 (95)	38.6 (45.5)	36.6 (41.0)	2.0 (4.5)
11	3	1/6	4.5	1	120 (10)	100 (100)	30.2 (34.8)	30.2 (32.7)	0.0 (2.1)
				2	120 (60)	100 (100)	33.2 (38.2)	33.1 (34.2)	0.1 (4.0)
				3	— (240)	99 (100)	34.8 (38.9)	34.0 (34.9)	0.8 (4.0)
				4	— (—)	92 (85)	36.8 (39.0)	35.6 (34.7)	1.2 (4.3)
				5	— (—)	90 (95)	35.4 (44.3)	35.2 (38.3)	0.2 (6.0)
12	3	1/3	4.5	1	120 (65)	100 (100)	32.7 (41.2)	32.4 (38.5)	0.3 (2.7)
				2	120 (180)	100 (100)	34.9 (45.0)	33.5 (40.1)	1.4 (4.9)
				3	— (—)	93 (97)	37.8 (47.3)	36.1 (40.0)	1.7 (7.3)
13	3	1/3	6	1	240 (60)	100 (100)	33.6 (42.7)	32.8 (36.3)	0.8 (6.4)
				2	— (120)	94 (100)	42.8 (46.2)	39.0 (37.2)	3.8 (9.0)
				3	(—)	(96)	(46.1)	(36.0)	(10.1)

よび粒子間空気温度を示す。なお，表中，括弧内の値は回分式乾燥実験によるものである。

テンパリング期間中のもみ粒子間空気は乾燥の初期において飽和に達し，しかも飽和に達するまでの所要時間は通風時間が短かい程，短縮されることを知った。循環式乾燥実験と回分式乾燥実験の結果を比較すると，前者は後者に比し飽和に達するまでの所要時間は長く，到達最高相対湿度は低い値を示している。この原因としてテンパリング期間中のもみ粒子間空気の温度低下値の差異を挙げることができる。

表に示すごとくテンパリング期間中のもみ粒子間空気の温度低下値を両乾燥方式間で比較すると乾燥条件によって異なるが，循環式乾燥方式の方が平均3.4°C (最高8.3°C) 低い値を示している。この理由は，循環式乾燥方式の場合，テンパリング期間中の最高もみ温度が回分式のそれよりも 3～8°C 低くかったこと，これに加うるにテンパリング期間中のもみ温度の低下値が少なかったことによるものと考えられる。

次に，テンパリング期間中におけるもみから，もみ粒子間空気への水分移行量および結露水量等の値を算出した結果，循環式乾燥方式における水分移行量は回分式乾燥方式の 55～87% 程度にとどまっており，さらに結露水も同様に回分式乾燥方式と比較して大幅に低くなっていることを知った。水分移行量が少ない理由として，既述したごとく，テンパリング期間中のもみ粒子間の空気温度が回分式のそれと比較して低くかったことが考えられる。結露水が少ない理由としてもみ温度の低下値が少なかったことが考えられる。

b. 通風期における排気の温湿度変化

Fig. 6-8 に通風量 3 m³/s.t，通風時間 1/6 時間，テンパリング時間 3 時間なる乾燥条件における排気の温湿度変化を示す。Fig. 5-33 に示した回分式の実験結果と比較すると，第 1 回目の通風期における排気の絶対湿度はほぼ一定の値を示し，回分式におけるがごとく明確な乾燥の予熱期を認めることができなかった。この理由として，循環式乾燥実験に用いたもみは加水操作を施して水

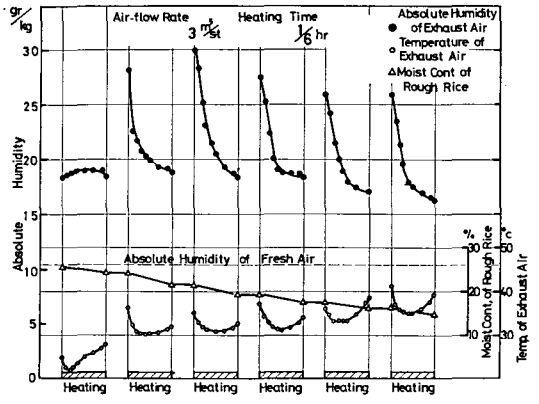

Fig. 6-8. Absolute humidity of exhaust air in heating period.

Table 6-8. Time required for 50% moisture evaporation during heating period.

No.	Air flow rate (m³/s.t)	Heating time (hr)	Tempering time (hr)	Heating period (%·hr) 1st	2nd	3rd	4th	5th
1	4	1/6	3.0	46 (67)	23 (25)	26 (22)	17 (21)	
2	4	1/3	3.0	34 (53)	19 (33)	17 (17)		
3	4	1/6	6.0	60 (70)	26 (23)	20 (35)	29 (36)	
4	4	1/3	6.0	37 (53)	14 (40)			
5	4	1/6	4.5	40 (65)	29 (25)	34 (35)	21 (30)	24 (—)
6	4	1/3	4.5	19 (35)	31 (18)			
7	3	1/6	1.5	69 (78)	34 (45)	26 (29)	23 (—)	20 (—)
8	3	1/3	1.5	49 (62)	19 (25)	14 (20)		
9	3	1/6	3.0	60 (80)	34 (45)	31 (30)	29 (25)	26 (25)
10	3	1/3	3.0	49 (60)	36 (35)	21 (25)		
11	3	1/6	4.5	57 (80)	34 (40)	29 (30)	26 (25)	26 (25)
12	3	1/3	4.5	40 (60)	21 (35)	31 (25)		
13	3	1/3	6.0	44 (65)	21 (38)	24 (25)		

分調整を行なったもみであり，生もみの場合と比較すると通風期の初期から比較的高い乾燥速度を示したものと考えられる。

Table 6-8 に各通風期における 50% 水分蒸発所要時間を示す。表中の括弧内に示す値は回分式乾燥実験の結果である。第1回目の通風期における 50% 水分蒸発所要時間は回分式乾燥実験の結果に比較して短縮されることを知った。一方，乾燥の進行に伴って両乾燥方式間の 50% 水分蒸発所要時間の差異は減少し，各乾燥条件とも最終通風期においてほぼ等しい値を示した。

第3節　要　　約

本章は第 III～第 V 章において述べた回分式乾燥実験の結果を参考にして，現在広く普及している循環式テンパリング乾燥機に適用すべき合理的な乾燥条件の確立を目指して試作した実験装置を用いて行なった実験結果について検討した。本実験は試作した循環式乾燥実験装置の較正試験を行ない，もみに機械的損傷を与えることがないことを確認した後に乾燥実験を実施した。

通風温度を一律 60°C とし，通風量を 3, 4 $m^3/s.t$ の2種類とし，通風時間も 1/6, 1/3 時間の2種類とし，テンパリング時間は 1.5, 3.0, 4.5, 6.0 時間の4種類として，これらを適宜組み合わせて乾燥条件を設定した。なお，本実験において，テンパリング期間中のもみの状態を可及的に実用乾燥機の場合に近づけるため，もみ温度の急速な変化を避け，もみ温度の推移に注目して，もみ温度の調整を行なった。

乾燥条件と乾減率との関係は回分式乾燥方式とほぼ同様の傾向を示しており，回分式乾燥方式よりも，やや高い乾減率を示すことを知った。テンパリング時間を4時間程度以上延長すると回分式乾燥方式では乾減率が低下する現象を認めるが，循環式乾燥方式においては逆に，テンパリング時間の延長に伴って乾減率は増加しつづけるか，もしくは飽和状態になることを知った。

乾燥条件ともみ品質との関係を胴割れ率および発芽率について検討した結果，いずれも循環式乾燥方式の方が回分式乾燥方式と比較して，もみの品質低下の度合が少ないことを知った。すなわち，同一乾燥条件下において胴割れ率は循環式乾燥方式が 2～7% 程度下回り，一方発芽率は循環式乾燥方式が 5～20% 程度上回ることを確認した。この理由として，最高もみ温度が回分式乾燥方式と比較して 3～8°C 低くかったこと，および循環乾燥方式においてもみの混合，撹拌がある程度なされたことにより乾燥むらによるもみの品質低下の度合が少なかったこと等を挙げることができる。もみ温度ともみ品質との関係を検討した結果，もみ温度を 40°C 以下に保てば胴割れ率を 5% 以下および発芽率を 80% 以上に保持することが可能であることを知った。

テンパリング効果の解析をテンパリング期間中のもみ粒子間空気の温湿度および排気の温湿度変化について検討した。その結果，もみ粒子間空気が飽和に達するまでの時間は，循環式乾燥方式の方が長く要し，さらに到達最高相対湿度は低い値を示すことを知った。これは，テンパリング期間中のもみ温度の低下がわずかであったことによるものと解され，したがって結露水の量もごくわずかであった。

排気の温湿度の状態は，第1回目の通風期において回分式乾燥方式の場合のごとく乾燥の予熱期を見い出せなかった以外は，ほぼ回分式乾燥方式と同様の推移を見せた。

第 VII 章　合理的な乾燥体系に関する検討

第 II～第 VI 章において，合理的なテンパリング乾燥条件を見い出すことを目的として実施した乾燥実験の結果について述べた。本章では得られた資料を個人用および共乾施設用テンパリング乾燥機に適用する場合の問題点を検討しつつ，合理的な乾燥体系の確立を試みることとする。

第1節　個人用乾燥機に適用する場合

A.　生もみを1段乾燥方式によって乾燥仕上げる場合

最近，個人用収穫機の主流はバインダから自脱型コンバインへと移りつつある。したがって農家個人が短期間に多量の比較的高水分もみを処理しなければならない事例が増加している。そこで初期水分 26% 程度の生もみを 15% まで一挙に乾燥する，いわゆる1段乾燥方式を採用する場合を想定し，実験結果を参考にして適切な乾燥条件を選定してみる。乾燥条件を選定する際の主な制限要素として，乾燥所要時間および乾燥仕上がりもみの品質を取り上げることにする。

まず，乾燥所要時間について検討してみると自脱型コンバインによる刈り取り開始時刻を午前9時とし，乾燥機の運転開始時刻を午前 12 時とすると，乾燥終了時刻は農家の健康管理および作業等の安全を配慮して遅くとも午後 12 時としなければならない。したがって乾燥所要時間は 12 時間が限度であると考えられる。

次に，乾燥仕上がりもみの品質については胴割れ率を 5% 以内に，発芽率を 80% 以上にそれぞれ保つことを前

提として検討することとする。

第 VI 章で述べた循環式テンパリング乾燥実験の結果を参考にして初期水分 26% の生もみを 15% の仕上がりもみに乾燥する場合の乾燥条件，乾燥所要時間および仕上がりもみの品質を求め，これらを一括して Table 7-1 に示す。表中に括弧で示す値は各種実験結果から試算した値である。なお，通風量 2 m^3/s.t の場合は第 III 章に述べた実験結果から試算して求めた。本表より乾燥所要時間が 12 時間以内で，しかも仕上がりもみの品質を安全限界内に保持できる乾燥条件を検討する。Fig. 7-1 (a), (b) は，通風量を 2, 3 m^3/s.t とした場合に適用して安全とみなされる乾燥条件の範囲を示すものである。なお，通風量 4 m^3/s.t の場合は適用可能な乾燥条件を見い出すことができなかった。Fig. 7-1 (a), (b) に示すごとく，通風量を減少させると適用可能な乾燥条件の範囲は多少拡大することを知った。しかし，いずれにしても初期水分 26% 程度の生もみを 12 時間以内に品質を保持しつつ乾燥仕上げるための乾燥条件は狭い範囲内に限定されることを知った。今後，自脱型コンバインの大型化，さらに兼業農家の増加，および作付品種の統一化に伴って，収穫期間はますます短縮され，多量の高水分もみを短期間に処理することが要求される。しかし，一方農家からは深夜にわたる乾燥作業を回避したい希望が強く出されるものと考えられる。このように，互に相反する要望を個

Table 7-1. Relation between total drying time and qualities

No.	Air flow rate (m^3/s.t)	Heating time (hr)	Tempering time (hr)	Rate of drying (%/hr)	Total heating time (hr)	Total drying time (hr)	Cracking ratio (%)	Germination ratio (%)
1	2	1/6	1.5	(7.7)	(1.43)	(14.9)	(1.5)	(96)
2			3.0	(8.7)	(1.26)	(25.3)	(1.0)	(97)
3			4.5	(8.7)	(1.26)	(37.3)	(1.0)	(97)
4			6.0	(8.7)	(1.26)	(49.3)	(1.0)	(97)
5		1/3	1.5	(6.9)	(1.59)	(9.1)	(3.0)	(92)
6			3.0	(7.7)	(1.43)	(13.4)	(2.0)	(93)
7			4.5	(7.9)	(1.39)	(19.4)	(1.5)	(94)
8			6.0	(8.0)	(1.38)	(25.4)	(1.5)	(94)
9		1/2	1.5	(5.9)	(1.86)	(10.6)	(6.6)	(88)
10			3.0	(6.9)	(1.59)	(10.6)	(5.0)	(89)
11			4.5	(6.9)	(1.59)	(15.1)	(4.0)	(89)
12			6.0	(6.9)	(1.59)	(19.6)	(3.0)	(89)
13	3	1/6	1.5	10.5	1.05	11.7	3.5	83
14			3.0	11.5	0.96	19.0	1.8	93
15			4.5	11.5	0.96	28.0	1.0	97
16			6.0	(11.5)	(0.96)	(37.0)	(0.5)	(97)
17		1/3	1.5	9.1	1.24	7.3	6.5	81
18			3.0	10.0	1.10	13.3	4.5	88
19			4.5	10.4	1.06	19.3	3.0	92
20			6.0	10.6	1.04	25.3	2.5	95
21	4	1/6	1.5	(11.8)	(0.93)	(10.0)	(7.5)	(80)
22			3.0	13.8	0.80	15.8	3.5	89
23			4.5	13.8	0.80	23.3	2.5	92
24			6.0	13.8	0.80	30.8	2.5	95
25		1/3	1.5	(10.0)	(1.10)	(7.3)	(12.5)	(74)
26			3.0	11.2	0.98	10.0	9.0	82
27			4.5	11.7	0.94	14.0	6.0	87
28			6.0	11.7	0.94	19.0	4.0	88

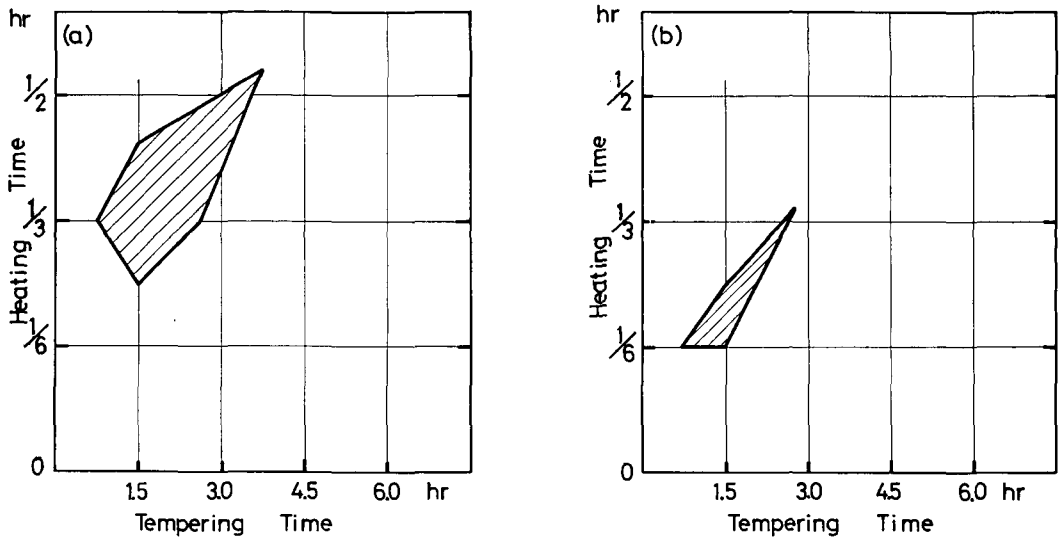

Fig. 7-1. Rational extent of drying conditions.

人用乾燥機を用いて1段乾燥方式によって満足させることは非常に困難になると考えられる。

かかる情勢に対応可能な乾燥方式として提唱[57]された半乾貯留2段乾燥方式を個人乾燥体系に適用する場合を想定して検討する。

B. 生もみを半乾貯留2段乾燥方式によって乾燥仕上げる場合

半乾貯留2段乾燥方式とは高水分生もみを一時貯留可能な水分（農林省の基準では17%）まで乾燥してこれを一時貯留し，降雨等によって生もみの収穫が中断された時，あるいは収穫終了後，あらためて仕上げ乾燥を行なう方式である。

本乾燥方式を採用した場合のメリットとして，①同一容量の乾燥機を用いて処理量を増加させることができること，②比較的緩やかな乾燥条件で乾燥を行なうことができるので良品質の乾燥仕上がりもみを得ることができること，③収穫時期における労働のピークを平準化することができること，等を挙げることができる。一方，ディメリットとして，①半乾もみの品質が一時貯留中に劣化する可能性があること，②半乾もみの貯留施設を新設しなければならないこと，③マテリアルハンドリング(Material-Handling) が複雑になること，等を挙げることができる。したがって，半乾貯留2段乾燥方式のメリットをのばし，ディメリットを抑制する方策として，複数の農家が共同して利用するサブセンタを設置し，これに半乾もみの貯留施設を付設し，サブセンタにおいて専ら生もみを半乾もみに調製してこれを一時貯留し，仕上げ乾燥は共乾施設に分担させる方法が提唱されている。

半乾貯留2段乾燥方式に関する研究は，半乾もみの品質保全に関するものが報告されている[5),25),26),43)]。ここでは，初期水分26%の生もみを水分17%の半乾もみに調製する場合を想定して乾燥条件と乾燥所要時間およびもみの品質との関係について検討する。Table 7-2は初期水分26%の生もみを水分17%の半乾もみに調製する場合の乾燥条件と所要乾燥時間および品質との関係を第VI章に述べた結果を参考にして求めて表示したものである。ただし，通風時間当りの乾減率および発芽率の値はもみを水分15%まで乾燥した場合の値を用いたので，水分17%の半乾もみに調製する場合は乾減率は増加し，乾燥所要時間は多少短縮され，発芽率も増大するものと思われる。なお，胴割れ率は第III章，第3節，D項およびTable 7-1に示した仕上がりもみの胴割れ率値を考慮して求めた。

Table 7-2に示す各乾燥条件中，乾燥所要時間が12時間以内で胴割れ率が5%以下，および発芽率が80%以上なる条件を全て満足させる乾燥条件の範囲を示したのがFig. 7-2である。Fig. 7-1に示した1段乾燥方式に比較して，適用可能な乾燥条件の範囲が拡大することを知った。したがって，2段乾燥を行なうことによって乾燥条件を比較的自由に選択することができるので状況に応じて処理量を増加させたり，乾燥条件を緩やかにし品質の保全を期することが可能となり柔軟性に富んだ乾燥作業を行なうことができることを知った。

Table 7-2. Relation between total drying time and qualites

No.	Air flow rate (m^3/s.t)	Heating time (hr)	Tempering time (hr)	Rate of drying (%/hr)	Total heating time (hr)	Total drying time (hr)	Cracking ratio (%)	Germination ratio (%)
1	3	1/6	1.5	10.5	0.86	9.9	2.0	83
2			3.0	11.5	0.78	15.8	0.5	93
3			4.5	11.5	0.78	23.3	0.5	97
4			6.0	(11.5)	(0.78)	(30.8)	(0.5)	(97)
5		1/3	1.5	9.1	1.00	8.5	4.5	81
6			3.0	10.0	0.90	9.9	3.0	88
7			4.5	10.4	0.87	14.4	2.0	92
8			6.0	10.6	0.85	18.9	2.0	95
9	4	1/6	1.5	(11.8)	(0.76)	(8.3)	(5.5)	(80)
10			3.0	13.8	0.65	12.8	3.0	89
11			4.5	13.8	0.65	18.7	2.0	92
12			6.0	13.8	0.65	24.7	1.5	95
13		1/3	1.5	(10.0)	(0.90)	(5.4)	(10.0)	(74)
14			3.0	11.2	0.80	9.8	6.0	82
15			4.5	11.7	0.77	13.8	4.0	87
16			6.0	11.7	0.77	18.8	3.0	88

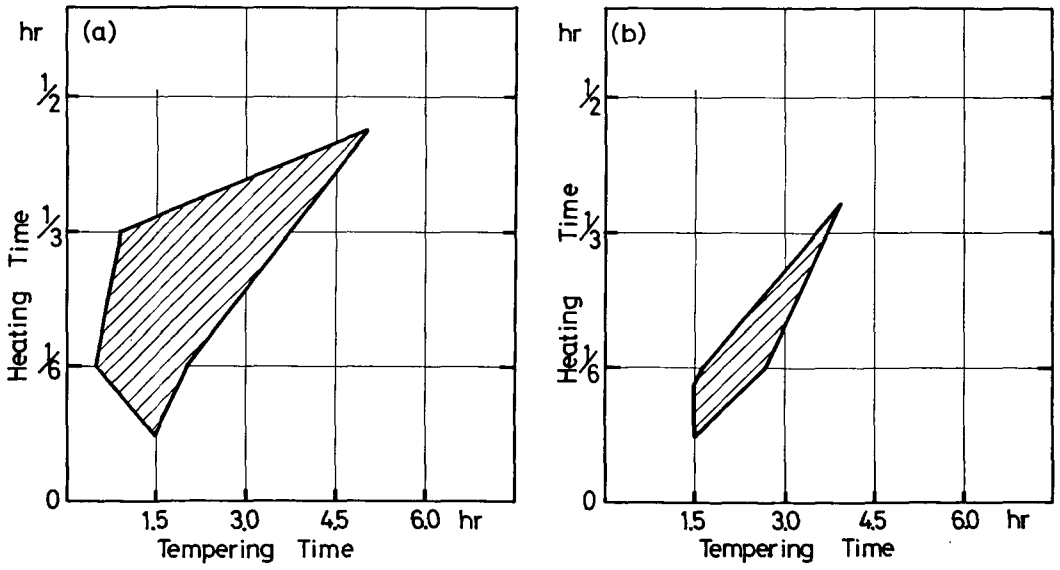

Fig. 7-2. Rational extent of drying conditions.

第2節 共乾施設においてマルチパス方式を採用した場合

マルチパス方式とは乾燥機と複数のテンパリングタンクとを組み合わせて，もみを乾燥機とテンパリングタンクとの間を往復させながら乾燥を行なう方式であり，主に共乾施設において採用されている乾燥形態である。

共乾施設におけるもみの張り込み方式には個別張り込み方式と集中張り込み方式とがあるが，ここでは施設の操業効率を高める上で有利な集中張り込み方式を前提にして検討する。

A. 生もみを1段燥燥方式によって乾燥仕上げる場合

1. 乾燥機が1台の場合

乾燥機が1台の場合における乾燥工程を検討する。この場合，施設に生もみが搬入されている時間（荷受時間）内は乾燥機に生もみが供給され，第1回目の通風が行なわれる。第2回目の通風は施設の荷受が終了した後，開始される。共乾施設の荷受時間は施設の支配面積，収穫体系，収穫時期の天候等によって変動する。昭和49年現在，本道に設置されている共乾施設（ミニライスセンタを除く）の内，8カ所が集中張り込み方式を採用し，しかも乾燥機1台で操業を行なっている。これからの施設における昭和48年度の荷受時間の実績を見ると平均8時間（最短5時間，最長10時間）となっている。今，荷受開始時刻を午前10時とすると，Fig. 7-3 に示すごとき乾燥工程を想定することができる。乾燥機へのもみ張り込み所要時間を20分間とすると，第1回目の通風開始時刻は10時20分となり，荷受時間を8時間とすると，荷受終了時刻は18時となる。第1回目の通風終了時刻は18時20分である。

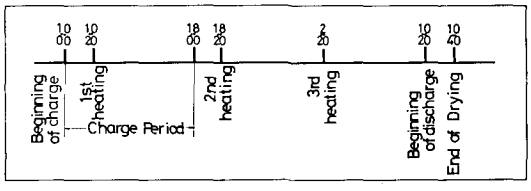

Fig. 7-3. Drying progress.

これに引き続き，第2，第3回目の通風を行なうと，第3回目の通風終了時刻は翌日の10時40分となる。したがって，乾燥の進行に伴うもみ重量の減少，および乾燥機通過速度の増加を考慮に入れたとしても，荷受時間8時間の場合，乾燥機1台で操業を行なうものとすれば，3回の通風を行なうのが限度である。したがって，乾燥工程中に故障が発生した場合は，翌日の操業に重大な支障を与えることになる。かかる不都合を解決する一つの方策として，荷受時間を短縮させることが考えられる。これを実現するには，あらかじめ共乾施設と施設利用を希望している農家との間で十分話し合いを行ない，共乾施設へ計画的に生もみを搬入できる体制を確立しておくことが必要となる。

次に，荷受時間を6時間と想定して乾燥工程を組むと Fig. 7-4 に示すごとくなる。かかる乾燥工程に適用すべき乾燥条件を Table 7-1 から選択すると通風量 2 m^3/s.t に対して通風時間 1/2 時間（A条件），および通風量 4 m^3/s.t に対して通風時間 1/3 時間（B条件）なる2つの条件を得ることができる。

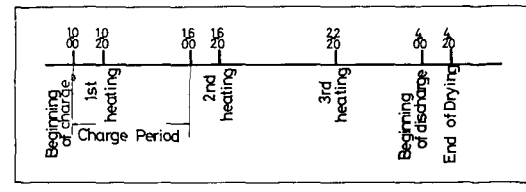

Fig. 7-4. Drying progress.

テンパリング時間については，マルチパス方式を採用した場合は，荷受時間と乾燥機通過時間（通風時間）とが定まれば自ずと求まる。すなわち，テンパリング時間は荷受時間から乾燥機通過時間を差し引いた値となる。したがって，A条件を用いた場合のテンパリング時間は 6−1/2=5.5 時間，一方B条件を用いた場合は 6−1/3=5.7 時間となる。

かかる乾燥条件を用いて乾燥を行なった場合，乾燥仕上がりもみの品質は Table 7-1 から考察して，A条件の場合は，胴割れ率 4.2%，発芽率 89%，B条件の場合は，胴割れ率 4.5%，発芽率 87% の値を示すものと予想される。

次にもみの処理量を試算する。マルチパス式を用いた場合の日処理量は次式によって求めることができる。

$$\text{日処理量} = \frac{\text{乾燥機の容量} \times \text{荷受時間}}{\text{乾燥機通過時間（通風時間）}}$$

今，乾燥機の容量を1トンとすれば，A条件の場合は12トン，B条件の場合は18トンとなり，乾燥機容量の12〜18倍のもみを処理することが可能であることを知った。

以上，共乾施設において乾燥機1台を用い，初期水分26%のもみを1段乾燥方式によって乾燥仕上げる場合（ただし，荷受け時間を6時間とする）に適用すべき乾燥条件を選択し，処理量および仕上がりもみの品質について検討した。その結果，乾燥機が1台のため，共乾施設の荷受時間が長く，操業時間を18時間程度としても通風回数は3回が限度となるので通風量が比較的少ない場合は通風時間を長くすることが必要となり，もみ処理量は減少する。一方，通風量を増し，通風時間を短縮すると，もみ処理量は増加するが，胴割れ率が許容限界値に近い値を示すことを知った。

さらに，テンパリング時間が長いためテンパリング期間中の玄米脂肪酸度の増加が懸念される。これらの不都合を解決するために，乾燥機を複数台（ここでは2台を

前提とする）設置し，これを並列させて運転を行なう方式について検討する。

2. 乾燥機が2台の場合

乾燥機を2台設置し，施設の荷受時間を6時間とした場合，Fig. 7-5 に示すごとき乾燥工程を組むことができる。すなわち，乾燥機1台当りの荷受時間を3時間とし，通風回数を6回とすると，施設の操業時間は22時間弱となる。

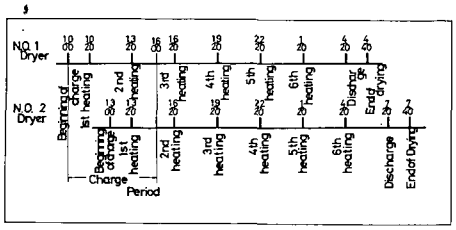

Fig. 7-5. Drying progress.

かかる乾燥工程に適用すべき通風条件を Table 7-1 から選択すると通風量 3 m³/s.t，通風時間 1/6 時間となる。テンパリング時間は，1項で述べたごとく，3−1/3＝2.7 時間となり，かかる乾燥条件を用いた場合，仕上がりもみの品質は Table 7-1 より，胴割れ率 2.0%，発芽率 92% 程度となることを知った。

一方，処理量は乾燥機の容量を1トンとすると，乾燥機1台当り 18トンとなる。これらの値を，1項に述べた乾燥機1台の場合と比較すると，燥乾機1台当りの処理量は同量であるが，操業時間を約 2.5 時間程度延長することによって良品質な仕上がりもみを得ることが可能であることを知った。さらに，通風量を 4 m³/s.t に増加することによって，通風回数を5回とし，操業時間を 18 時間程度に短縮することが可能であり，この場合，仕上がりもみの品質は胴割れ率 4.0%，発芽率 88% となることを知った。このように，乾燥機を複数台設置し，これを並列して運転することの有利性が認められ，昭和 48 年現在，本道における共乾施設（ミニライスセンタを除く）50 カ所についてみると，37 カ所において乾燥機を複数台設置して操業を行なっている。

B. 生もみを半乾貯留2段乾燥方式によって乾燥仕上げる場合

次に，共乾施設において半乾貯留2段乾燥方式を用いて，生もみを乾燥仕上げる場合について検討を加えることにする。

1. 生もみを水分 17 %の半乾もみに調製する場合

既述したごとく，乾燥機を複数台並列して用いることの有利性が証明されたので，ここでは2台の乾燥機を並列させて用いることを前提として検討する。

初期水分 26% の生もみを 17% の半乾もみに調製する際に適用すべき乾燥条件を品質保全に重量をおいて，Table 7-2 より求めてみる。荷受時間を6時間，通風回数を5回とすると，Fig. 7-6 に示すごとき乾燥工程を設定することができる。ただし，通風条件として，通風量を 3 m³/s.t，通風時間を 1/6 時間とし，テンパリング時間に 3−1/6＝2.8 時間を見込むと乾燥所要時間はほぼ 19 時間となる。かかる乾燥条件を採用した場合，半乾もみの品質は，胴割れ率 0.7%，発芽率 94% を示し，品質の低下はほとんど認められないことを知った。なお，この場合のもみ処理量は乾燥機の容量を1トンとすると，1日当り 36トンとなる。次に操業時間の短縮に重点をおいて乾燥条件の選定を行なうと，通風量 3 m³/s.t，通風時間 1/3 時間，テンパリング時間 2.8 時間なる乾燥条件を適用することが可能であり，通風回数は3回となり，日操業時間は 12 時間となる。この場合の品質は胴割れ率 3.2%，発芽率 87% と考えられ，もみの処理量は 18トンとなる。

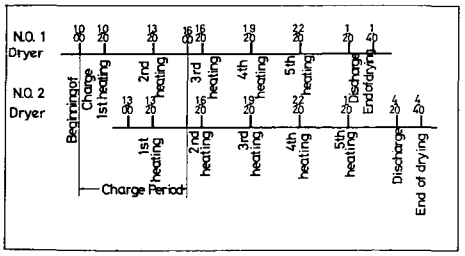

Fig. 7-6. Drying progress.

このように，生もみを2段乾燥で仕上げる方式は1段乾燥方式と比較して品質の低下が非常に軽微で，しかも操業時間を 3〜6 時間短縮することが可能となる。

共乾施設で半乾貯留2段乾燥方式を行なう場合には，半乾もみの一時貯留施設が必要となり，カントリエレベータにおいては貯蔵サイロを一時貯留施設として利用することが可能である。カントリエレベータの貯蔵サイロは通気装置およびローテイション装置を備えており，半乾もみの一時貯留施設として有効であると考えられる。一方，従来のライスセンタは施設としての性格上から，カントリエレベータの貯蔵サイロに相当する貯蔵施設を備えていないが，最近，ライスセンタに生もみの一時貯留および予乾施設としてのドライストア（欧米で開発，発達した乾燥および貯蔵が同一のビン，もしくは Compartment で行なうことのできる施設で我国には床面が

通気性のある打抜鉄板で構成されている角型ビンタイプが多く導入されている）が付設されているが，これも半乾もみの一時貯留装置として利用することが可能である。

さらに，第V章においてテンパリング期間中にテンパリングタンクへ通風を行なうことによるもみの品質を保全する方式について検討したが，通風装置を備えたテンパリングタンクを半乾もみの一時貯留施設として利用することが可能であると考えられる。

2. 水分17%の半乾もみを水分15%の乾燥仕上がりもみに仕上げ乾燥する場合

半乾もみを仕上げ乾燥する場合，乾燥条件の選定は乾燥速度よりむしろ品質保全に重点を置いて行わねばならない。本章において，生もみを半乾もみに調製する場合，通風温度を専ら60°Cとしたが，半乾もみを仕上げ乾燥する際は，品質保全の観点より，通風温度を45°Cとした。Table 7-3は第IIIおよび第VI章を参考にして，通風温度を45°Cとした場合の乾燥条件と乾減率および水分17%の半乾もみを仕上げ乾燥する際の乾燥所要時間を求め，これを一括して示したものである。なお

Table 7-3. Relation between drying conditions and total heating time

No.	Rate of flow (m^3/s.t)	Tempering time (hr)	Rate of drying (%/hr)	Total heating time (hr)
1	3	1.5	6.0	3.3
2		3.0	6.5	6.3
3		4.5	6.7	9.3
4		6.0	6.7	12.3
5	4	1.5	7.0	3.3
6		3.0	7.5	6.3
7		4.5	7.7	9.3
8		6.0	7.8	12.3

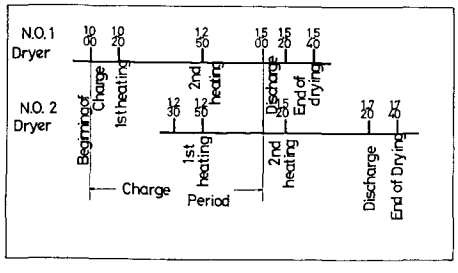

Fig. 7-7. Drying progress

Table 7-3に示す乾燥条件の範囲内では，本研究において得られた実験の結果から考察して，仕上げ乾燥によるもみの品質低下はないものと判断した。

共乾施設の操業時間を約8時間，通風回数を2回とした場合の乾燥工程をFig. 7-7に示す。もみの荷受時間を5時間とし，2台の乾燥機を並列に用いると，乾燥機1台当りの荷受時間は2.5時間となる。

通風温度45°C，通風時間1/6時間，通風量3 m^3/s.tなる通風条件を選定するとテンパリング時間は2.3時間となる。かかる乾燥条件を採用した場合，もみ処理量は乾燥機（容量1トン）1台当り15トンとなる。このように半乾もみの仕上げ乾燥は，もみの品質保全の観点より通風温度を45°Cに下げても比較的多量の半乾もみを短時間に処理することが可能であることを知った。

以上，共乾施設において，マルチパス方式を採用して操業を行なう種々の場合について検討を加えた。その結果，今後のもみ乾燥体系の1つの望ましい形態として，共乾施設に専ら半乾もみの仕上げ乾燥および調製施設としての機能を発揮させ，生もみを半乾もみに調製する工程は個人農家，もしくは共同利用のサブセンタに分担させる，いわゆる半乾貯留2段乾燥方式の有利性が実証できた。この乾燥方式を採用することによって，労働のピークが平準化され，品質の良い仕上がりもみを得ることが可能となり，又，共乾施設の操業時間を延長し，処理量の増加を計って経営の改善を計ることも十分可能である。

さらにサブセンタの運営を通じて農家の共乾施設への理解が深まり，農家個人とサブセンタおよび共乾施設との間に有機的な連携が成立するものと考えられる。ただ本方式を採用した場合，農家個人，もしくはサブセンタに半乾もみの一時貯留施設を新設する必要があり，本施設はできるかぎり廉価で，しかも半乾もみを安全に貯留する性能を備えていなければならない。これらの条件を十分満たす装置の早期開発が待たれる。

さらに農家個人，又はサブセンタにおいて，もみの搬入および排出時に用いる簡便な搬送装置の開発も同様に待たれる所である。

第3節　要　　約

本章では，第II～第VI章に述べた各種の乾燥実験結果を個人乾燥方式および共同乾燥方式に適用する際の問題点について検討し，さらに今後その普及が望まれる半乾貯留2段乾燥方式についても検討を加えた。その結果，自脱型コンバインで収穫される多量の比較的高水分

もみを個人用乾燥機を用いて，1段乾燥方式で乾燥仕上げる場合，乾燥所要時間を12時間としても適用可能な乾燥条件はごく限られたものになり，しかも胴割れ率は許容限界に近い値を示す可能性があることを知った。一方，共乾施設において高水分生もみを1段乾燥方式で仕上げる場合には，操業時間を延長することにより個人用乾燥機の場合と比較して適用可能な乾燥条件の範囲は多少拡大することを知った。

共乾施設において，乾燥機1台当りの荷受時間の短縮を計る意味からも，乾燥機を複数台併置し，これらにそれぞれ時間差（概ね荷受時間/併置台数）を持たせて，もみの乾燥を行なわせる方式が有効であることを知った。

次に，1段乾燥方式に代って，今後もみの乾燥体系の望ましい1つの形態として提唱されている半乾貯留2段乾燥方式について検討した。その結果，生もみを半乾もみに調製し，一時貯留を行なう工程を農家個人，もしくは共同利用のサブセンタにおいて行ない，半乾もみの仕上げ乾燥および最終的調製を既存の共乾施設において行なう体系を組めば，良品質の仕上がりもみを比較的余裕のある作業工程によって得ることが可能であることを知った。なお，本方式を広く普及させるには，半乾もみの安全な貯留技術の確立，安価でしかも半乾もみを安全に貯留できる半乾貯留施設の開発，さらに簡便な搬送装置の開発等，緊急に解決しなければならない問題がある。これらの諸問題を解決すれば半乾貯留2段乾燥方式は合理的な乾燥体系として極めて有効なものであると結論せられる。

第VIII章 結　論

最近，我国における稲作の機械化一貫作業体系は，ほぼ完成したものと考えられる。特に収穫機の発達は目ざましく，我国で開発された自脱型コンバインはその性能の向上と並行して大型化が計られている。今後，農家の労働力不足，作付品種の統一化の進行にしたがって自脱型コンバインはますます広く普及するものと考えられる。

自脱型コンバインによって収穫された比較的高水分もみを従来の連続通風式の乾燥機を用いて乾燥する場合，胴割れ率の増加，発芽力の低下，着色粒の発生および食味の低下等の各種品質低下を回避するために乾減率を比較的低値に抑制することが推奨されている。したがって能率的に行なわれている収穫作業に乾燥作業を対応させるには乾燥機の大型化を計るか，あるいは基数を増設しなければならない。かかる現況に対処するには，乾燥能率の高い，しかも品質低下を極力回避し得る合理的な生もみ乾燥方式を緊急に確立する必要がある。

筆者は，かかる見地に立ち，生もみの乾燥合理化に関する研究の一環として，近年米国において提唱され，我国に紹介されたテンパリング乾燥方式に関する研究に着手した。筆者は本研究の主目的をテンパリング乾燥の理論的解析を行なうことよりも，合理的なテンパリング乾燥機の設計ならびにこれを適切に使用する上で必要な資料を得ることにおいた。したがって，実験は比較的多量の材料を用い，乾燥条件の組み合わせも実用に供しうる範囲を検討，取捨して設定した。

以下，第II章より第VII章まで各章ごとにその要約を述べる。

1. テンパリング乾燥に関する基礎実験

本実験は適切なテンパリング時間を設定する際の基礎資料を得る目的で，各種の初期水分を有する試料を用いて行ない，テンパリング期間中における玄米から稃への水分移行量の測定，および品質試験を行なった。その結果，次に述べるごとき結論を得た。

1) テンパリング期間中における玄笑から稃への水分移行速度は，テンパリングの初期において大きな値を示し，テンパリング時間の経過にしたがって，ほぼ指数曲線的に低下することを知った。玄米から稃への水分移行量から適切なテンパリング時間を検討すると試料の水分および通風条件によって異なるが，その範囲は，ほぼ2～4.5時間程度であると考えられる。なお，試料水分が高く，通風時間が長い場合には6時間程度のテンパリングが有効であることを知った。

2) テンパリング期間中における試料の品質試験を行なった結果，次のごとき知見を得た。すなわち，

i) テンパリング期間中における試料の異臭は試料水分が高いほど早期に発生し，試料水分26％台の場合はテンパリング開始後6時間，さらに試料水分21％台の場合は12時間の時点でそれぞれ醗酵臭を認めた。本結果は1回のテンパリングに関するものであり，実際の乾燥工程において，もみ水分が比較的高い場合はテンパリングを5～6回施すため，異臭は醗酵臭の段階からカビ臭の段階へと進行する可能性がある。したがってテンパリング開始時におけるもみ水分が高い場合はテンパリング時間を3時間程度にすべきであることを知った。

ii) テンパリング期間中における玄米の脂肪酸度の増加割合は試料水分が高いほど大きいことを知った。本実験で得た資料を参考にして，初期水分が28％台，26％台，24％台のもみに4～6回のテンパリングを施して仕

上げ乾燥する場合を想定し，テンパリング時間の限界値を検討した。その結果，玄米の脂肪酸度の許容上限値を15(mgKOH/100gr・D.M.)とすれば,テンパリング時間の限界はそれぞれ，3.0, 5.5, 10.0時間となることを知った。

iii) テンパリング期間中における胚の活性度，搗精歩留り，および精米の炊飯特性の変化などについては胚の活性度がテンパリング時間の延長に伴ってわずかに低下する以外は，テンパリング時間の長短による有意差を認めることはできなかった。

以上の結果を総合して検討すると通風条件および乾燥経過に対応させてテンパリング時間を設定することが望ましいが，乾燥経過に対応させてテンパリング時間を変化させることは実用上非常に難しいのでテンパリング時間を一律に設定するものとすれば，その範囲は2～4.5時間程度と判定される。ただし，もみ水分が比較的高い場合はテンパリング時間を短縮するか，もしくは第1回目の通風期において可及的速やかにもみ水分を低下させることが肝要である。

2. テンパリング時間を3時間に規定した回分式テンパリング乾燥実験

通風条件，すなわち，通風温度，通風量，通風時間と乾減率および品質との関係を求める目的で本実験を行なった。なお，供試条件の範囲として，通風温度は40～80°C，通風量は1～4 m^3/s.t，通風時間は1/8～3時間とし，テンパリング時間はテンパリング乾燥に関する基礎実験の結果を参考にして一律3時間とした。なお供試試料の水分は28～33% の範囲内にあった。実験の結果，以下に述べるごとき結論を得た。

1) 供試条件の範囲内において，乾減率は通風温度を高めるほど，通風量を増すほど，また通風時間を短縮するほど増加することを知った。特に通風量が多い場合，通風時間の短縮による乾減率の増加が著しいことを知った。しかし，テンパリング乾燥において通風時間を短縮することにもとずく乾減率の増加には限度があり，本実験の通風条件の範囲内で，ほぼ1/8時間程度が通風時間の最短限度と考えられる。なお，実用の乾燥機を用いてテンパリング時間を3時間とし，比較的高水分もみを乾燥する場合の適切な通風時間は1/6～1/3時間の範囲にあると考えられる。

2) 胴割れ率は通風温度が高く，通風量が多く，通風時間が長いほど増加することを知った。なお胴割れ率ともみ温度との間にも相関関係があることを知った。胴割れ率の許容上限値を5% とすると,全乾燥期を通じて,もみ温度を37°C 以下に保つことが要求される。ただし，同一もみ温度を示しても通風温度が高く，通風量が多ければ胴割れ率も比例的に増加することを知った。

3) 発芽率はもみ温度を40°C 以下に調整すれば80% 以上の値を維持することを知った。

4) 玄米および精米の光沢は，もみ温度を40°C 以下に調整すれば自然乾燥による製品と比較し遜色のない製品が得られることを知った。

3. テンパリング時間を変えた場合の回分式テンパリング乾燥実験　—低水分もみを用いた場合—

これまでの実験結果から考察して，種々に組み合わせた各種通風条件に対してそれぞれ適切なテンパリング条件が存在するものと予想される。本実験ではテンパリング時間を，1, 3, 5時間の3段階として，乾燥条件と乾減率および品質との関係を究明すべく実験を行なった。さらに本実験は低水分もみの乾燥特性を知るために試料として平均水分19.6% のもみを用いた。通風温度は既述した実験結果および市販されているテンパリング乾燥機に採用されている通風温度を参考にして，一律に60°C とした。実験を行なった結果，次に述べるごとき結論を得た。

1) 通風条件が乾減率におよぼす影響は高水分もみの場合と同様であるが高水分もみと比較して乾減率は1～5%/hr 程度低い値を示した。また，テンパリング時間の延長にしたがって乾減率が増加することを知った。テンパリング時間の延間による乾減率の増加は通風量が多く，通風時間が短かい場合に顕著であるが，テンパリング時間を延長するとテンパリング時間を含めた総乾燥時間当りの乾減率が低下し，乾燥機の型式如何では乾燥所要時間が長くなり円滑な乾燥作業の実施が困難になるので，乾燥機の型式に適合する乾燥条件を選定することが肝要となる。

2) 胴割れ率および発芽率はもみ温度によって強く影響され，もみ温度の許容上限値はほぼ38～40°C であることを知った。したがって通風条件が苛酷な場合はテンパリング時間を延長して，もみ温度の調整を行なう必要がある。

4. テンパリング時間を変えた場合の回分式テンパリング乾燥実験　—高水分もみを用いた場合—

テンパリング時間を1.5, 3.0, 4.5, 6.0時間の4段階として比較的高水分もみ（平均もみ水分：26% 台）を用いて乾燥条件と乾減率および品質との関係を究明するための実験を行ない，合わせてテンパリング機構の解析を行なった。その結果，次に述べるごとき結果を得た。

1) 乾燥条件と乾減率との間にはこれまでの実験で得

られた結果とほぼ同様の傾向が認められた。本実験においてテンパリング時間を延長することによって得られる乾減率の増加には限度があり，実験条件の範囲内では，3～4.5時間のテンパリングで乾減率の増加は飽和状態となり，通風量が少なく通風時間が短かい場合にはテンパリング時間をさらに延長すると乾減率が逆に減少することを知った。

2) 胴割れ率を5%以内に抑制し，かつ発芽率を80%以上に維持するには，全乾燥期間を通じてもみ温度を39～41°C以下に調整する必要があることを知った。なお，本実験の結果より，通風条件の範囲を通風温度60°C，通風量3～4 m³/s.t，通風時間1/6～1/3時間とすると，もみ温度を39～41°C以下に調整するにはテンパリング時間を3～4.5時間以上に設定する必要があることを知った。

3) テンパリング効果の検討を次の3項目について行なった。i)玄米から稃への水分移行量。ii)もみ粒子間空気の温湿度。iii)排気の温湿度。

その結果，テンパリング効果は通風条件および乾燥経過に強く影響されることを知った。すなわち，通風温度が高く，通風量が比較的多い苛酷な通風条件の場合は，第1回目のテンパリングにおいて最大のテンパリング効果が生じ，乾燥が進行するにしたがってテンパリング効果が急激に減少することを知った。一方，通風時間が短かい比較的緩慢な通風条件の場合は，第2～第4回目のテンパリング期において最大のテンパリング効果が生ずることを知った。したがって，適切なテンパリング時間を設定する場合には通風条件のみならず乾燥経過をも考慮する必要がある。

しかし，乾燥経過に対応させてテンパリング時間を乾燥期間中に変化させることは実際の乾燥工程におけるもみの円滑な搬送を乱すことになり，作業効率の低下を招く結果となる。

したがってテンパリング時間は乾燥期全般を通じて一定とせざるをえなく，テンパリング時間の設定は専ら品質保全の立場からもみ温度を目安にして行なうことになる。この場合，考慮すべき点は乾燥の初期においてもみ温度が大幅に低下し，多量の結露水の発生が避けられない場合の対策である。これの対策としてテンパリングタンクへ通風を行なう方法を検討した。

その結果，通風を行なうことによってある程度もみ水分が低下し，もみ温度を過度に低下させないようにし，通気がもみ層内を均一に完全に通過するように配慮すれば，テンパリングタンクへ通風を行なう方法は多量の結露水の発生を防止する有効な方法であることを知った。

5. テンパリング時間を変えた場合の循環式テンパリグ乾燥に関する実験

現在多く用いられている循環式テンパリング乾燥機に適用すべき乾燥条件を究明することを目的として実験を行なった。実験は試作した実験装置が試料に機械的損傷を与えないことを確認した後に実施した。供試条件の範囲として，通風温度は一律60°C，通風量は3, 4 m³/s.t，通風時間は1/6, 1/3時間，テンパリング時間は1.5, 3.0, 4.5, 6.0時間とした。供試材料は20%台の比較的低水分もみに加水操作を施し，26%台の水分に調整したものを用いた。実験の結果，次に述べるごとき結論を得た。

1) 乾燥条件と乾減率との間には回分式テンパリング方式の場合とほぼ同様の傾向が認められ，さらに循環式による乾減率は回分式のそれよりも0.8～2.0%/hr程度，高い値を示した。しかし，この値は実験装置の構造上の原因，すなわち循環中に通風期と無通風期（搬送期）とを交互に繰返す，いわゆる混合型の乾燥を一部行なっていること等を考慮すれば有意的な差異とは認められないので，回分式乾燥方式で得た乾減率を循環式乾燥方式に適用し得るものとみなされる。

2) 胴割れ率は同一乾燥条件において回分式乾燥方式による値のほぼ1/2程度であることを知った。この理由として，もみ温度が回分式乾燥方式のそれよりも3～8°C低い値を示したことを挙げることができる。

発芽率は同一乾燥条件において回分式乾燥方式による値よりも5～20%高い値を示した。

6. 合理的な乾燥体系に関する検討

これまで行なった実験によって得た資料を参考にして個人用および共乾施設のテンパリング乾燥機の最適な乾燥条件の設定を試みた。

農家個人が自脱型コンバイン等の高性能収穫機を用いて収穫を行なう場合には比較的高水分もみが能率的に収穫される。このもみを1段乾燥方式で乾燥仕上げる場合に，適用できる乾燥条件の範囲は比較的限られた狭い範囲であることを知った。すなわち，通風温度を60°Cとし，通風量2 m³/s.tの場合は通風時間を1/4～1/6時間とし，テンパリング時間を1～3時間程度に設定することがのぞましく，一方通風量3 m³/s.tの場合は，通風時間を1/6～1/3時間とし，テンパリング時間を1～3時間程度に設定することがのぞましいことを知った。

共乾施設においてテンパリング乾燥機を用いてマルチパス方式を採用して乾燥作業を行なう場合を想定して適切な乾燥条件を検討した。今，共乾施設の荷受時間を1

日当り6時間とし，乾燥機を2台設置し，これを並列させて乾燥を行なうことを前提とすると，通風温度を60°Cとした場合，通風量3 m³/s.t，通風時間1/6時間，テンパリング時間2.7時間なる乾燥条件を設定することができる。かかる乾燥条件を用いた場合には比較的良品質の仕上がりものみを乾燥機容量の18倍程度処理することが可能であることを知った。

次に，最近提唱された半乾貯留2段乾燥方式に適用できる乾燥条件の設定を試みた。その結果，1段乾燥方式と比較して良品質の仕上がりもみを比較的余裕のある乾燥工程を採用して調製することが可能であることを知った。半乾貯留2段乾燥方式を実用化する場合の体系として，生もみを半乾もみに調製し，一時貯留を行なう工程を農家個人，もしくは共同利用のサブセンタにおいて行ない，半乾もみの仕上げ乾燥および最終的調製を既在の共乾施設において行なう体系が有効であることを知った。本乾燥体系を広く普及させるには半乾もみの安全な貯留技術の確立，および安価で，しかも半乾もみを安全に貯留できる半乾貯留施設の関発等の緊急に解決しなければならない問題があるが，これらの諸問題を解決すれば，半乾貯留2段乾燥方式は合理的な乾燥体系として極めて有効なものであると結論せられる。

引用文献

1. 伴　敏三・諏沢健三・鈴木光雄：籾の人工乾燥におけるテンパリング時間とテンパリングの効果，第26回農機学会講演要旨，p. 110. 1967
2. 伴　敏三：人工乾燥における米の胴割れに関する実験的研究，農機研研究報告，8：1-80. 1971
3. BARRE, H. J.: Vapor pressures in studying moisture transfer problem. *Agr. Eng.* **19**: 247-249
4. 伴　敏三：二次的品質を基準とする各種乾燥方式の比較検討—間欠乾燥における品質，農機研事業報告書，1971
5. 戸次英二・武田太一・高橋照夫・小峰卓一：半乾もみの貯留に関する考察，農機学会東北支部会報，**19**：74-80. 1972
6. 中馬　豊・村田　敏・岩元睦夫：穀類の乾燥に関する基礎的実験，農機学会誌，**31**(3)：250-255 1969
7. CALDWOOD, D. L.: Use of aeration to aid drying, *Rice. J.*, **69**(6): 22-27. 36, 1966
8. CALDWOOD, D. L.: Resistance to airflow of rough, brown and milled Rice, *Trans. A.S.A.E.*, **16**: 525-527. 532, 1973
9. HOUGEN, O. A.: Limitation of diffusion equation in drying, *Trans Am. Inst. Chem. Eng.* **36**: 183-209. 1940
10. HENDERSON, S. M.: A basic concept of equilibrium moisture, *Agr. Eng.*, **33**: 29-33. 1952
11. HENDERSON, S. M.: Deep-bed dryer performance, *Agr. Eng.*, **36**: 817-820. 1955
12. HENDERSON, S. M.: Milled rice yield test show yield and quality affected by drying air temperature and Humidity, *Calif. Agr.*, **11**(7): 6-15. 1957
13. HENDERSON, S. M.: Airflow and pressure patterns for perforated grain-drying tunnels. *Trans. of A.S.A.E.*, 538-541. 1965
14. HARISON, H. P.: Airvolume for drying grain, *Canadian Agi. Eng.*, **11**: 58-61. 1964
15. 細川　明・本橋圀司：一粒もみの乾燥特性．農機学会誌，**33**(1)：53-59. 1971
16. ホクレン資材事業本部地域開発部：穀類共同乾燥調製施設操業状況集録，1974
17. 居垣千尋：籾の人工乾燥における速度と品質に関する研究，農機学会誌，**17**(1)：30-33. 1955
18. 市村一男・中山元司：穀類の乾燥特性に関する研究．農電研究所報告，109-150. 1960
19. 伊藤和彦・寺尾日出男・池内義則・吉田富穂：生もみ乾燥の合理化に関する研究（第1報）—乾燥の外部条件が乾減率におよぼす影響について—．農機学会誌，**35**(4)，385-392. 1974
20. 伊藤和彦・寺尾日出男・池内義則・吉田富穂：生もみ乾燥の合理化に関する研究（第2報）—乾燥の外部条件が仕上りもみの品質におよぼす影響について—，農機学会誌，**35**(4)：393-398. 1974
21. 伊藤和彦・寺尾日出男・池内義則・吉田富穂：生もみ乾燥の合理化に関する研究（第2報）—テンパリング効果の解析—，農機学会誌，**36**(1)：115-125. 1975
22. 石倉教光外1名：生もみの一時貯留に関する研究（第1報），日作記，**38**：137-142. 1968
23. 近藤万太郎・岡林　保：玄米が吸湿せし時の膨脹の方向と胴割米成生との関係，農学研究，**19**：143-152 1932
24. MATTHEWS. J.: Automatic moisture content control for grain dryers, *J. Agr. Eng. Res.*, **8**: 207-220. 1963
25. 松田従三・伊藤和彦・池内義則・吉田富穂：もみの半乾貯留に関する合理的運営と品質保全に関する研究（第1報），農機学会誌，**35**(4)：399-405. 1974
26. 松田従三・伊藤和彦・池田義則・吉田富穂：もみの半乾貯留に関する合理的運営と品質保全に関する研究（第2報），農機学会誌，**36**(4)：543-548. 1975
27. 松田従三・池内義則・伊藤和彦・吉田富穂：貯留もみ

における品質試験法について，農機学会北海道支部会報，12：68-73. 1972
28. 長戸一雄・江幡守衛・石川雅士： 胴割米の発生に関する研究，日作記，33：82-90. 1964
29. 長戸一雄・朝隈純隆： 籾の乾燥に関する一実験. 日作記，20，37-40. 1951
30. 長戸一雄・岸 洋一： 籾の乾燥法に関する基礎的研究，日作紀，36：246-251. 1967
31. 内藤 広：穀類活性度の簡易検査について(第1報). 発芽法と還元法との米の活性度の比較，食研報告，18：77-81. 1964
32. 農林省食糧研究所：米の品質と貯蔵利用. 20, 1969
33. 永沢勝雄： 農学実験指導書，8-15. 1952
34. 西山喜雄・隈元正治： 乾燥空気の状態変化からとらえた乾燥過程，農機学会誌，35(1)：69-74. 1973
35. OXLEY, T. A.: The movement of heat and water in stored garin, *Cereal Chemistry.*, 17: 84-100. 1940
36. 岡崎紘一郎： 生籾乾燥過程のテンパリング時間と品質，食味，第32回農機学会講演要旨，123, 1973
37. PABIS, S. HENDERSON, S. M.: Grain drying theory (2), A Critical analysis of the drying curve for shelled maize, *J. Agr. Eng. Res.*, 6(4): 1961
38. PABIS, S. HENDERSON, S. M.: Grain drying theory (3). The air-grains temperture relationship, *J. Agr. Eng. Res.* 7(1): 1962
39. 佐藤英雄・清水 浩： 交互通風方式による籾乾燥の特性について，第27回農機学会講演要旨，101, 1968
40. SCHMIDH, J. L. HUKILL, W. V.: Effect of artificial drying on the yield of head rice and the germination of rice, *Rice Journal.*, 59(13): 28-31. 1956
41. 田原迫昭爾： 農産物の熱風乾燥に関する研究，鹿児島大学農学部学術報告，7：334-362. 1966
42. 垂井不二男： 水稲生籾の乾燥に関する実験的研究，福井農試特別報告，2：27-62. 1966
43. 谷川聡一・山下律也・川村 登： 生もみおよび急速乾燥もみの貯留について，農機学会関西支部会報，69-71. 1971
44. 竹生新治郎外： 一時貯留における生もみの乾燥程度と貯蔵性，日作記，34(4)：472-477. 1966
45. 竹生新治郎： 栄養と食糧，21(4)：265-269. 1968
46. 谷 達夫： 栄養と食糧，22(7)：452-461. 1969
47. WASSERMAN, T. BROWN, A. H. HOUSTON, D. F. and FERREL, R. E.: Drying characteristics of western rice…caloro variety. I. Equal moisture removal and constant drying air temperature in All Passes, U.S.D.A. Reseach on conditioning and Storage of Rough and Milled Rice. 1959
48. WASSERMAN, T. BROWN, A. H. HOUSTON, D. F.: Drying characterristcs of western rice…calgro variety. I. Varying drying air temperature and amount of moisture removed in each pass, *Rice Journal.* 59(4): 41-45. 1956
49. 渡辺鉄四郎・清水 浩： 籾の人工乾燥について，農機学会誌，12(3, 4)：11-20. 1951
50. 渡辺鉄四郎・小川浄寿・福田正光・富沢 昭・吉永 昭・伴 敏三： 常温通風乾燥に関する研究，関東東山農試研究報告，4：38-116. 1953
51. 渡辺鉄四郎・小川浄寿・福田正光・富沢 昭・伴 敏三・金津豊彦：常温通風乾燥法に関する研究（第III報），関東東山農試研究報告，12：115-145. 1959
52. 渡辺鉄四郎・小川浄寿・伴 敏三・金津豊彦・桑名隆通：風乾燥法に関する研究（第V報），一火炉併用の通風乾燥試験，関東東山農試研究報告，18：184-197. 1961
53. 山下律也： 籾の乾燥 (I)，農機学会誌，28(3)：162-166. 1967
54. 山沢新吾・吉崎 繁・前川孝昭： 農産物の乾燥に関する基礎的研究（第1報），農機学会誌，33(2)：192-199. 1971
55. 山沢新吾・吉崎 繁・前川孝昭： 農産物の乾燥に関する基礎的研究（第2報），農機学会誌，33(3)：279-287. 1971
56. 山沢新吾・吉崎 繁・前川孝昭： 農産物の乾燥に関する基礎的研究（第3報），農機学会誌，36(3)：417-425. 1974
57. 吉田富穂： 新局面に対応する共乾施設. 農機学会北海道支部会シンポジューム講演前刷，26-45. 1969

Summary

In recent years, the mechanization of rice crop production has been almost completed carried out in Japan.

Especially, rice harvesting has been profoundly mechanized by using the small combine which was developed in Japan. Now, these combines are increasing in size and are being improved in their performance. Combined rice is relatively high in moisture content and must be quickly dried to prevent deterioration.

In order to adjust the drying operation to large quantities of combined rice, it has been either necessary to remodel the dryer into a larger size

or to increase the number of dryers. In such situations, it has been very important to establish the most efficient drying method for rice of high moisture content, without milling losses caused by cracking or viability damage.

With these circumstances in mind, the author carried out a series of experiments on the tempering method of drying as a part of the study on the rationalization of drying rough rice. The author made it his purpose in this study to obtain data for the design of a rational tempering dryer and for the adequate use of the dryer, instead of the theoretical analysis of tempering drying.

The following conclusions were drawn from experimental data:

1. The fundamental experiments of tempering drying with rough rice.

The fundamental experiments were carried out to determine the effects of the tempering process on moisture migration, deterioration, chemical properties, germination viability and other rice qualities. In laboratory tests, rice was dried in an experimental oven from a variable range of initial moisture content to 15% using 60°C air with a heating time of 1/6~1/2 hours and with a tempering time of 1.5~12.0 hours. The tempering process was done in polyethylene bottles.

Results obtained were as follows:

1) The amount of moisture transferred from inside the rice grain to the outside of the hull was largest at the beginning of the tempering period, and it decreased with the progress of the tempering process. Therefore the tempering time should be determined corresponding to the drying conditions and the drying process. It is thought from the authors experimental tests that the reasonable range of tempering time is from 2 to 4.5 hours.

2) The smell of fermentation was recognized in the tested rice at the initial moisture content levels of 26 and 21% wet basis, at 6 ane 12 hours after the starting of tempering.

3) The fat acidity value increased with the increase of the moisture content at the beginning of tempering. According to the present experiment, the upper limit of tempering time was 3.0, 5.5 and 10 hours for the initial moisture contents of 28, 26, and 24% wet basis.

4) The germination viability slightly decreased with the increase of the tempering time.

5) It was recognized that the milling yield and the cooking quality was not affected by changes of tempering time.

2. Experiments on tempering drying with the batch method (keeping the tempering time at 3 hours).

The experimental data were obtained under the following conditions: the air temperature was from 40 to 80°C, the airflow rate from 1 to 4 m^3/s.t, the heating time from 1/8 to 3 hours, the tempering time 3 hours constant. The experimental apparatus consisted of a wind tunnel and batch type dryer equipment.

The following results were obtained:

1) The drying rate increased with the increase of the air temperature or the rate of airflow and with decrease of the heating time. In particular, the effect of the airflow seems to be the greatest. When high-moist rough rice was dried with a commercial dryer with a tempering time of 3 hours, the adequate range of heating time was considered to be 1/6 to 1/3 hours.

2) The amount of cracked grain increased with the increase of air temperature, airflow rate and heating time.

It was found that the rice temperature was closely related to the number of cracks, so that the temperature of rice could be considered as an index for a safety operating schedule under any drying condition.

The data indicated that the rice temperature should be kept below. 37°C.

3) When the temperature of rice was below 40°C, the germination viability was over 80%.

4) The gloss of hulled and milled rice, dried under the condition of a rice temperature below 40°C, was not affected by artificial drying.

3. Experiments on tempering drying by the batch method with a low moisture content in rough rice (varying the tempering time from 1 to 5 hours).

The experimental data were obtained under the following conditions: the airflow rate was from 2 to 4 m^3/s.t, the heating time from 1/6 to 1/2 hours, the tempering time from 1 to 5 hours, and the air temperature was kept at a 60°C constant. The initial moisture content was 18.7 to 19.8% wet basis. The experiment apparatus was the same as

described in part II.

The following results were obtained:

1) The rate of drying increased slightly with an increase in tempering time.

2) The relationship between the drying condition and the rate of drying was the same previously stated.

3) The rate of cracking and germination were closely related to the temperature of rice. It was found that the safty limit of the temperature in rice was 37～40°C.

In case of severe drying conditions, it is necessary to increase the tempering time.

4) The experiment on tempering drying by the batch method with a high moisture content in rough rice (varying the tempering time from 1.5 to 6.0 hours).

The experimental data were obtained under the following conditions: the airflow rate was from 3 to 4 m^3/s.t, the heating time from 1/6 to 1/2 hours, the tempering time from 1.5 to 6.0 hours and the air temperature was kept at a 60°C.

The following results were obtained.

1) The relationship between the drying conditions and the rate of drying was the same as the results which were previously stated. It was found that the drying rate attained to a maximum when the tempering time goes on from 3 to 4.5 hours.

The longer the tempering time beyond 4.5 hours, the more the drying rate decreased. The saturation point of the drying rate was varied by drying conditions.

2) The data indicated that the safety limit of the tempering in rice was 40～43°C.

The author analyzed the tempering effects in the following subjects.

(1) The amount of moisture transfer between the hull and hulled rice.

(2) The change of humidity in the airspace surrounding the grain in the tempering tank.

(3) The change of humidity in the exhaust air.

The tempering effects were affected by drying conditions and the drying process. When the drying conditions were severe or the moisture content of rough rice was high, the tempering effects appeared obviously at the beginning of drying.

In case of a moderate drying conditions, the tempering effects appeared at the middle or later period. According to the results of the experiment, it was considered that the adequate tempering time should be decided concerning to the drying conditions and the drying process. However it is difficult to put the above method to practical use at a cooperative drying plant, because this method might disturb the flow of rice, causing disorder.

Consequently, the tempering time was held constant. In the case of a constant tempering time, the dewcondensation which would occur in a tempering tank at the beginning of the tempering period, should be prevented. The author considered the aeration of the tempering tank was one of the effective method for preventing dewcondensation.

5. The experiment on tempering drying by the recirculating method with a high moisture content in rough rice (varying the tempering time from 1.5 to 6.0 hours).

The pourpose of this experiment was to find out the drying conditions which could be applied to the recirculating tempering dryer that is now widely used. The author constructed a laboratory scale recirculating tempering dryer.

The experiment was carried out under the following conditions: the airflow rate was from 3 to 4 m^3/s.t, the heating time from 1/6 to 1/3 hours, and the air temperature constant at 60°C. The initial moisture content was 19.5% and 26.5% (remoistened rough rice).

The following results were obtained:

1) It was found that the relationship between the drying conditions and the rate of drying was the same as with the batch type under every drying condition.

However, the rate of drying with the recirculating method was slightly higher than the rate of drying with the batch method. Taking consideration of the fact that in the case of the recirculating dryer, the tempering period was included in the drying process, no appreciable differences in drying rate could be attributed to differences in drying method.

2) The number of cracked grains with the recirculating drying method was half of that with the batch drying method under every drying condition. The germination viability with the recirculating drying method was 5～20% higher than with the batch drying method.

6. Studies on the rational drying system.

The author intended to apply the results which were obtained in this study to practical use. It was found that the application of drying conditions for a high moisture content in rough rice harvested quickly by small combines with an individual dryer was limitted to a small extent.

In case of cooperative drying plants where two or more dryers were used and were operated with some timelag, the available range of drying condition was wider than a personal dryer.

Also, it was found that it might be able to dry such an amount of rough rice as 12~18 times the capacity of the dryer depending on drying conditions.

The author has discussed about the double stage drying method using semi-dried rice and this method has been recently advocated in place of the single stage drying method. In case of the double stage drying method with semi-dried rice, it is possible to produce a good quality of dried rice under comparatively moderate drying conditions more so than with the single stage drying method.

However, there are some problems that must be settled immediately. For example, the techniques for safe storing of semi-dried rice rnd the development of an inexpensive storage plant for semi-dried rice. If these problems were resolven, the semi-drying method with double stages would be effective as a rational drying system.