

研究種目：基盤研究（C）（一般）

研究期間：2007～2009

課題番号：19580292

研究課題名（和文） 高品質・高効率カンピョウ生産システムの開発

研究課題名（英文） Development of high quality and highly effective Kanpyou (dried gourd shavings) productive system

研究代表者

中島 教博 (NAKAJIMA MICHIMIRO)

宇都宮大学・農学部・准教授

研究者番号：10008055

研究成果の概要（和文）：本研究では、カンピョウ自動切削機および真空乾燥装置の開発を行い、効率的且つ高品質なカンピョウ生産システムの可能性を明らかにした。先ず、職人技を持つカンピョウ生産農家の切削条件を把握した。そして、得られた条件を基にカンピョウの自動切削が可能な自動切削装置を開発した。次に、現行乾燥作業について調査し、カンピョウ真空乾燥装置を試作してカンピョウの真空乾燥条件を把握した。その結果、現行では2日間を要する乾燥時間を2時間程度に短縮することができた。

研究成果の概要（英文）：In this study, Kanpyou (dried gourd shavings) automatic cutting machine and the vacuum dryness device were developed, and the possibility of an efficient, high-quality Kanpyou productive system was clarified. First of all, the cutting condition of the Kanpyou production farmer who had craftsmanship was understood. And, the automatic cutting device of Kanpyou was developed based on the cutting condition of obtaining. Next, present Kanpyou dryness work was investigated. And, the vacuum dryness device was made for trial purposes and the vacuum dryness condition of Kanpyou was understood. As a result, the Kanpyou dryness time to require two days was able to be shortened in about two hours in present.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,700,000	510,000	2,210,000
2008年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2009年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総計	3,600,000	1,010,000	4,670,000

研究代表者の専門分野：食品流通工学

科研費の分科・細目：農業環境工学

キーワード：カンピョウ、高効率生産、高品質化、自動切削装置、真空乾燥装置

## 1. 研究開始当初の背景

カンピョウの国内生産量(生産量ベース)は最盛期には年間約1500tであったが、現在では約300tまで低下している。国内需要を補う形で約3000tを輸入しており、そのほとんどが中国産である。つまり、国産カンピョウの約9割が栃木県産であり、栃木県が唯一の

生産拠点であると言える。

栃木県におけるカンピョウの生産量は、ここ十数年で急激に減少している。図1と図2はそれぞれ石橋町、壬生町、上三川町、国分寺町、南河内町におけるカンピョウの生産量およびユウガオの作付面積の推移を表したものである。現在ほど

の地域も生産量は100t、作付面積は50haに満たない程度まで減少している。

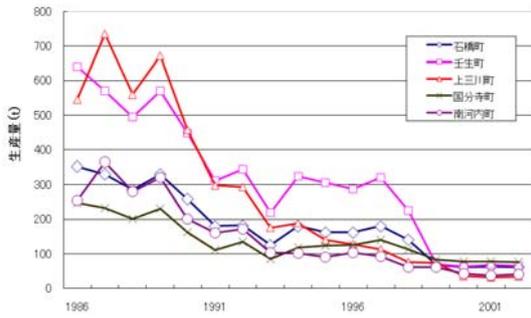


図 1 栃木県内のカンピョウ生産量の変化

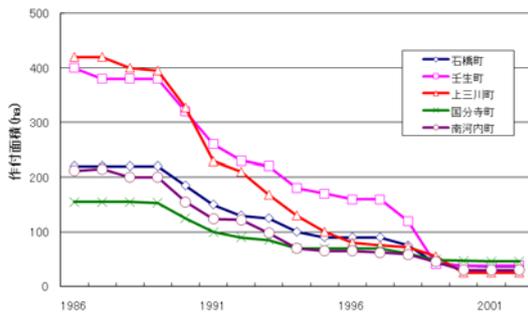


図 2 栃木県内のカンピョウ作付面積の推移

国内産カンピョウ生産衰退要因は、長時間の重労働や経営の不安定による後継者不足や高齢化が挙げられ、この状況に海外の安価なカンピョウ輸入が追い打ちを掛けた状況である。しかし近年、流通しているカンピョウのほとんどが中国産であるため外国産の食品に対する不信感から国産の需要がより高まり、国内のカンピョウ生産にとって追い風となる可能性がある。このような状況において高品質で効率的なカンピョウ生産を実現していく上でカンピョウ生産の実情の把握することは重要である。



図 3 カンピョウの生産作業工程

カンピョウ生産はユウガオ栽培に始まり、ユウガオ菜果の収穫、カンピョウ剥き、天日乾燥、調製、出荷と非常に手間が掛かる作業である。ユウガオ菜果の収穫からカンピョウが生産される工程の概略を図 3 に示す。

ユウガオ菜果の切削工程は、先ず表皮から約 3~5mm 程度を調理器具のピーラー(皮むき器)で切削・除去した後(図 4)、カンピョウ



図 4 ユウガオ菜果の表皮除去作業



図 5 カンピョウの切削状況

切削機(カンピョウ剥き機と呼ばれている)に取り付けられている“カンナ”と呼ばれる切削器具を用いて幅 40mm、厚さ約 2mm の帯状に切削する(図 5)。

カンピョウ剥き機の操作は長年の経験に基づく高度な技術力が要求される。ユウガオ菜果の内部には“ワタ”と呼ばれる種子を含んだ軟弱な構造があり、切削作業ではこのワタ部の直前で切削を止める必要がある。さらに、切削によって削りだされたカンピョウ帯の幅や厚さが均一でなければならない。高速回転させた不整形の球状物体に切削刃を均一な力で押し当ててカンピョウ帯を削り出す操作は長年の経験が必要で、軟弱部分を見極める判断とカンピョウ帯の切削状態が熟練者か否かの基準の一つとされている。

削り出されたカンピョウ帯は、帯の性状を確認されながら品質の良い部分、つまりカンピョウ帯に種の混入や筋、こぶ、シミなどの存在を確認しながら約 2m に切断する。一定長さに切り揃えられたカンピョウを竹竿に掛けて運搬し、ハウス内で天日乾燥を行う。

カンピョウの乾燥工程は、品質に直接関係する非常に重要な作業である。切削されたカンピョウ帯は表面に粘性があるため帯同士が接着してしまう場合があり、剥離する際に表面を傷め外観品質が低下し、買い取り価格の成果につながってしまう。よって、ハウス内でカンピョウ帯を一本ずつ等間隔に再配置し、外気を強制的に循環し、また曇天時は



図 6 乾燥中のカンピョウ

補助的に灯油の燃焼熱を用いた熱風乾燥機を設置して乾燥させている。ハウス内に吊されたカンピョウ帯の初期含水率は 3000~2000%*d.b.*であり、天日を主に熱風乾燥機を補助的に使い、16時~17時には含水率が約60%*d.b.*になり、乾燥を終了する。乾燥中の天候の変化などによって乾燥終了時の含水率が十分に下がりなかった場合、カンピョウ帯の変色(赤変や褐変)や乾燥斑が生じてしまい、品質低下による商品価値の大幅な下落につながる。

天日による乾燥工程後、カンピョウ帯は燻蒸用の倉庫内に取り込まれ、明朝まで硫黄燻蒸される。そこで硫黄を燃やし、発生する二酸化硫黄のガスで燻蒸する。燻蒸後のカンピョウ帯に残留する二酸化硫黄は製品1kgあたり4g未満となるよう調整している。また、硫黄燻蒸を行うと水分の戻りが生じてしまうため、翌日に再度乾燥を行う。再乾燥後、カンピョウ帯の乾燥状態を1本ずつ確認すると同時に、カンピョウ帯の長さを約1.8m以上に揃え、変色や縮み、捻りが無く、厚さが均一であるものを選別し、約2kgを一括りにし、5括りで1束にして低密度のポリエチレンフィルムで密封し、製品とする。そして、製品は仲買業者を通じて出荷される。

図7は作付面積10a当りで収穫されるユウガオ果実から生産されるカンピョウの生産量を比較したものである。作付面積10a当りの生産量は、ユウガオの生育が天候に左右されやすいため100~200kgとばらついている。カンピョウ10貫(37.5kg)当

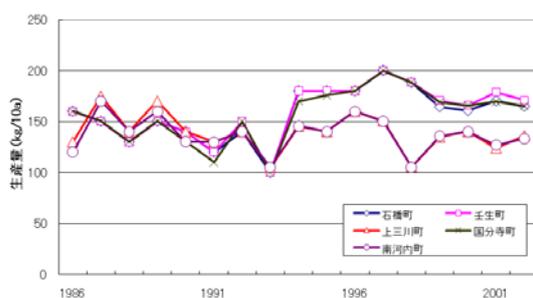


図 7 単位面積当りユウガオ生産量

りの相場が8万円とすると、作付面積10aあたり30万円前後の利益が期待できる。現在、カンピョウ生産農家が1日に剥くことのできるユウガオ果実の個数は約170個程度である。ユウガオ果実1個につき200gのカンピョウができるとすると、1日の収入は7.25万円程度であり、単位面積当り収入の高い農作物であることがいえる。

## 2. 研究の目的

本研究では、カンピョウ農家減少の原因として重労働である収穫作業、職人技が必要とされる剥き作業、拘束時間が長く、手間がかかる乾燥作業に注目し、特に過酷なカンピョウ切削工程および乾燥工程の自動化および高品質化を目的とした。具体的には、高い技術が必要とされる切削工程に着目し、職人的カンピョウ剥き技術を代替可能な自動カンピョウ剥き機の開発を行った。

また、天候に左右される天日乾燥を代替し、高品質かつ高効率にカンピョウを乾燥する人工乾燥システムの開発を目的とした。乾燥方法として真空乾燥法を用いた。真空乾燥は減圧下の乾燥であるため、乾燥時の酵素的褐変反応の抑制が期待できる。

## 3. 研究の方法

### (1) 自動カンピョウ切削装置の開発

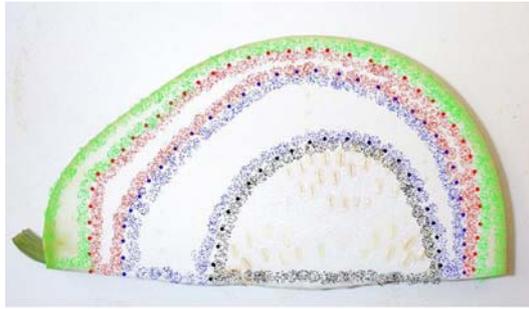
現在、カンピョウ生産農家で使用されているカンピョウ剥き機は、ユウガオ菜果を回転させ、切削部を押し当てて幅40mm、厚さ約2mmのカンピョウ帯を削り取る仕組みである。ユウガオ菜果の回転は摩擦クラッチに連結したペダルで制御し、切削部は40mmごとに移動でき、切削刃をユウガオ果実に押し当てる力はバネを利用している。この機械を操作し、高品質なカンピョウ帯を得るには、職人的感覚に委ねられている。先ず、職人技である切削条件について把握した。

#### ① 切削回転数の把握

カンピョウ切削中の回転数は、外皮除去では約300rpm、切削では約400~550rpmの範囲であった。切削者への聞き取り調査によると、経験豊富な生産農家の方はほぼ無意識のうちこのような判断を行い、カンピョウ帯の切削品質を均一なものに制御している。

#### ② ユウガオ菜果の硬度分布測定

経験豊富なカンピョウ生産農家は、切削時の抵抗などの感覚によってほぼ無意識的にユウガオ菜果の回転速度を制御している。ユウガオ菜果の表面は非常に硬い表皮おおわれており、その中心は“ワタ”といわれる種子を含む非常に柔軟な組織になっている。表皮と“ワタ”(花托の髓)の間を薄く切削したものがカンピョウ帯であり、この切削可能部分は表皮から中心方向に硬さが変化していると考えられるため、硬さの分布を把握した。図8はユウガオ果実内部の硬度分布を推定した結果である。緑色で囲んだ部分は表皮を



含む硬度 500gf 以上の硬い部分である。赤色

図 8 ユウガオ菜果の硬度分布

で囲んだ部分は硬度 500~240gf の部分である。青色で囲んだ部分は硬度 240~100gf の部分である。黒色で示した部分は花托の髓で、その硬度は約 50~110gf であった。

### ③ 切削器具の押し当て力

現在使われているカンピョウ剥き機では、切削アームは剥き機内部の押し当てバネと作業者の手によりユウガオに押し当てられる。作業者はユウガオの形状に応じて押し当て力を調節していると考えられ、バネの力と手による押し当て力をそれぞれ計測した。

押し当てバネによる押し当て力はバネの伸び(切削アームの移動)とともに変化し、切削を行う位置では 3~6kg であった。

作業者による押し当て力は 3kg 前後で推移し、最大で 4kg 程度であった。

剥き機内部のバネおよび作業者の切削部押し当て力を合わせて考えると、切削アームをユウガオに押し当てる力は 6~10kg である。

### ④ カンピョウ剥き作業に要する時間

熟練した作業者のカンピョウ剥き作業に要する時間を把握した。作業者のユウガオ 1 個当りの剥き作業時間は約 1 分であった。その内訳は、外皮の除去に 5~10 秒、切削作業に 25~30 秒、それからユウガオを剥き機にセットし剥き始めるまでに 30 秒というペースであった。切削作業では上から 1 段ずつ剥いていくが、1 段当たりにかかる時間は 2~4 秒程であった。

### ④ 自動カンピョウ切削装置の開発

図 10 に試作した自動カンピョウ切削装置を示した。この自動カンピョウ切削装置の試作コンセプトは、①切削部の移動方向(x 軸方向、z 軸方向)や刃の入射角度が、現在使われているカンピョウ剥き機と同じ条件にする、②カンピョウ切削の際に生じる様々な力を測ることができる、③心棒を刺したユウガオ果実が中央のターンテーブルの上に固定されて回転し、それに切削刃を押し当て、切削するという基本的な切削方法は現在使用されているカンピョウ剥き機と同じにする。④ユウガオ果実の切削部の上下移動、前後移動、およびユウガオ果実本体の回転の動力にはそれぞれモーターを利用する(図 9)。

### (2) カンピョウ真空乾燥装置の開発

先ず、カンピョウ生産農家で行われている



図 10 自動カンピョウ切削装置

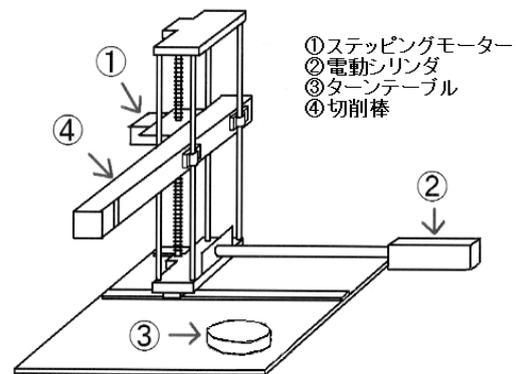


図 9 開発機のコネプト

天日乾燥の環境条件や乾燥状況など現地測定調査を行った。即ちハウス内の温度や湿度、カンピョウ品温の変化、乾燥重量の変化、カンピョウの色合いなどについて把握した。

実際の生産現場条件を基礎にして、実験室規模の真空乾燥機を用いてカンピョウ帯の表面温度、チャンバー内の設定圧力、乾燥時間などについての最適値を検討した。

### ① カンピョウ乾燥の実態調査

カンピョウ生産農家で実際に行われている、天日乾燥の実態を把握した。切削後のカンピョウはフィルムハウス内で天日乾燥される。ハウス内の湿度は日照とともにほぼ 1%/10 分の割合で減少した。また、ボイラーの稼働停止や日射の減少によってハウス内気温が下がると、湿度は上昇した。

品温は、ほぼカンピョウ周囲の気温と同じような温度を示したが、乾燥が進行し含水率が低下すると水分蒸発が減少し、カンピョウの温度は周囲の温度を僅かに上回った。これは、カンピョウは周囲空気からの熱伝達だけでなく、晴天時は放射熱も受けるため、本来周囲温度より高い温度を示す。しかし、水分蒸発が多い時点では蒸発潜熱で冷却されるため、周囲温度以下になると考えられる。

含水率についてはカンピョウの初期含水率は 2100~2900% d. b. と収穫時期、個体差な

どバラツキが見られた。乾燥終了時は 30～60% d. b.、湿量基準含水率(水分)では 5～7% w. b. であった。やや、過乾燥状態にあると考えられるが、夜間イオウ燻蒸による漂白が行われるため、水分の戻りがある。

また、カンピョウの品温の方が周囲温度より高くなるのは含水率が 500% d. b. 以下と推定され、この時点(含水率 500% d. b.) が恒率乾燥から減率乾燥への遷移点と考えられる。

カンピョウの色相変化について  $L^*a^*b^*$  値で把握した。乾燥開始から乾燥終了の期間で変化が見られたのは  $L^*$  値、 $b^*$  値であった。乾燥初期は  $L^*$  値 81～85、 $b^*$  値 5～10 であり経時的な変化は見られず、一定時間経過後に増加して乾燥終了時には  $L^*$  値 90～92.5、 $b^*$  値 15～18 であった。 $L^*$  値、 $b^*$  値が増加傾向を示す時点を乾燥曲線と重ねると、含水率が約 1000% d. b. に相当した。

含水率 1000% d. b. 以下において含水率と  $L^*$  値、 $b^*$  値との関係を調べた。 $L^*$  値については含水率 1000% d. b. 以下では、乾燥が進み含水率の低下と共に値が上昇し、含水率 100% d. b. になると  $L^*$  値約 90、その後急激に上昇して最終的には 95 以上になった。 $b^*$  値も  $L^*$  値と同様に含水率の低下と共に徐々に上昇し、含水率 100% d. b. で 12 程度まで上昇した。含水率 100% d. b. 以下では急激に上昇して黄ばみを増す傾向を示した。

酵素的褐変反応によるカンピョウの黄ばみは、品温による影響も大きい。ボイラー使用時は最大で 50℃、非使用時は 36℃であったことから真空乾燥時においてもこの点を考慮する必要がある。

## ②カンピョウ真空乾燥装置

真空乾燥装置は、試料(カンピョウ帯)をつり下げ、その両側面からセラミックヒータで熱放射加熱して乾燥する方式とした(図 11)。具体的には、真空チャンバ内(図 12)に電子天秤を設置し、真空乾燥中のカンピョウの重量変化を測定した。この真空冷却装置は真空チャンバ、真空ポンプ、コールドトラップ、冷凍機から構成されている。計測項目はチャンバ内圧力、チャンバ内温度、カンピョウ品温、カンピョウ付近の温度、カンピョウ質量、セラミックヒータの表面温度、そしてカンピョウ色相である。チャンバ内圧力、コールドトラップ内圧力はバラトロン圧力計と膜式圧

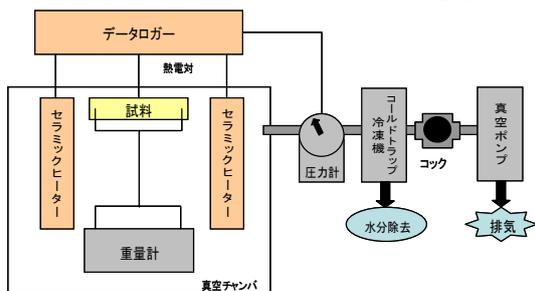


図 11 カンピョウ真空乾燥装置の概略



図 12 真空チャンバの外観

力計を組み合わせ測定した。温度関係の測定は熱電対を使用した。また、質量以外のデータはデータ記録装置(GreenKit100)に取り込み、真空乾燥装置の圧力制御、ヒータ温度、品温を制御した。

真空乾燥時のチャンバ内制御圧力を 30、10、4Torr と低くすると含水率の低下が速くなる、即ち乾燥速度が速いのでカンピョウ品温の上昇開始点も速くなる。よって、制御圧力を 4Torr として制御温度を検討した(図 13)。

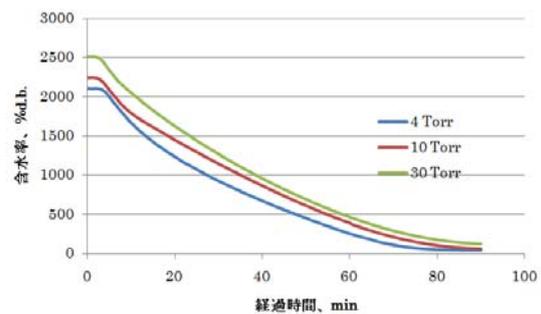


図 13 真空度と含水率低下の関係

制御温度は乾燥対象物付近の雰囲気温度とした。制御温度を変化させて乾燥状況を把握した。制御温度 35、45、55℃の場合、乾燥速度が 65、75℃に比べて低い。制御温度 65℃は 75℃と比較して乾燥速度にほとんど差がない。よって、カンピョウ真空乾燥における制御温度は 65℃を選択した。

また、乾燥能率を上げるため、制御温度を約 60℃とし、定温制御ではなく、乾燥の進行

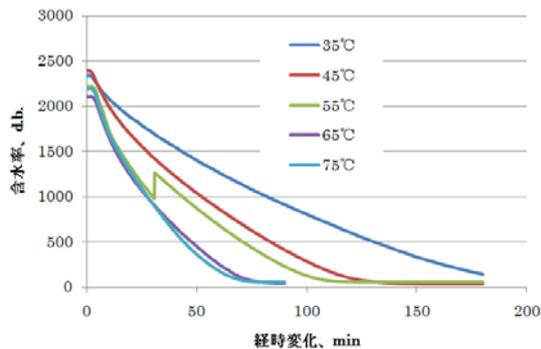


図 14 制御温度と含水率低下の関係

とともに制御温度を下げた。図 15 は初期に制御温度を 65℃、乾燥が進み水分蒸発が減少してカンピョウ品温が 40℃に到達したら制御温度を 35 あるいは 45℃に下げたときの品温および含水率変化を示した。

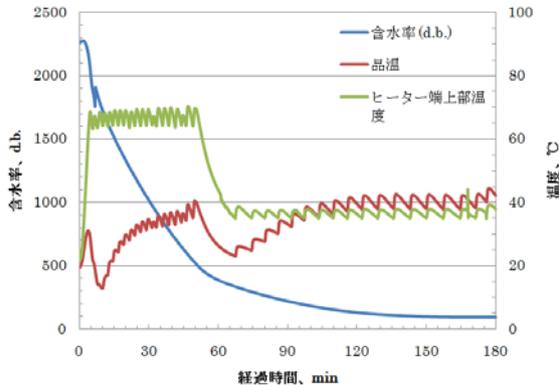


図 15 制御温度変化時の品温および含水率の変化

しかし、これらの含水率の経時変化を見ると、制御温度を 65℃から 35℃に下げたことにより乾燥速度が極端に遅くなり、含水率 100%d.b. 以下まで 144 min 要した。従って制御温度を定値制御 45、55℃で制御したときと同等である。この制御方法は乾燥後期に低温で乾燥させるため、品質の面では優れているが、乾燥時間が長いと判断した。

次に各制御温度でカンピョウ重量が恒量に達するまで真空乾燥を行い、乾燥時間、最終含水率を表 1 に示した。現地調査の結果、天日乾燥におけるカンピョウの含水率は 50%d.b. 程度であった。表 1 に示したような最終含水率では過乾燥であった。

表 1 真空乾燥による乾燥時間および最終含水率

周囲温度 (°C)	乾燥時間 (min)	最終含水率 (%d.b.)
45	180	0.3
55	180	4.6
65	90	8.0
75	90	1.3

次に、色差計を用いてカンピョウの品質を検討した。真空乾燥前と終了後に測定した L\*値および b\*値を表 2 に示した。L\*値 88 以下、b\*値 12 以上のカンピョウは商品価値が低いとされている。周囲温度(制御温度)55, 65, 75℃においては商品価値が低いとされる条件を満たしている(表 2)。周囲温度 45℃においては、乾燥後では L\*値 88 以上、b\*値 12 以下であり、L\*値は高い値を示した。b\*値についても乾燥前から数値が他より低かったが、

表 2 真空乾燥前後の色相の変化

周囲温度 (°C)	L*値		b*値	
	乾燥前	乾燥後	乾燥前	乾燥後
45	82.3	90.2	6.51	11.87
55	80.3	83.32	7.77	10.62
65	81.8	82.45	10.03	13.13
75	82.9	84.34	10.38	19.1

乾燥後の値は条件を満たした。

また、過乾燥の試料はしなやかさが無く手触りにも難があった。したがって、過乾燥になると高品質とは言えなくなる。

そこで、真空乾燥を終了するタイミングは、品温と含水率の関係から、品温安定開始時で真空乾燥を終了するのが好ましいと判断した。真空乾燥条件については、乾燥時間が短く、周囲温度 75℃と比較して品温安定開始時間に大差がなく、品温が過度に上昇しない 65℃の方が高品質になりやすいことから、真空乾燥は周囲圧力 4Torr・周囲温度 65℃で行うのが適切であると判定した。

#### 4. 研究成果

本研究は、効率的且つ高品質なカンピョウ生産システムを構成する自動切削機および真空乾燥装置の開発を行った。

##### 1) 自動切削機の開発

職人技を持つ生産農家の切削条件を把握し、ユウガオ菜果の回転数約 400rpm、切削器具をユウガオ菜果に押し当て力は約 30~40Nであることを把握した。これら条件を基に自動切削装置を試作し、機械によるカンピョウの自動切削を可能にした。

##### 2) 真空乾燥装置の開発

現行の天日乾燥における乾燥状況を把握し、そのデータを用いて真空乾燥装置を試作した。真空乾燥装置を用いてカンピョウの真空乾燥条件を把握した。品温は乾燥進行によって水分蒸発が減少し急激に品温が上昇する。その後、品温は再び一定温度を保持する。その遷移点の含水率は急上昇点では 100~300%d.b.、品温安定開始点では周囲温度 45~75℃において 35~50%と到達時間に余り差異が見られず、天日乾燥における経験的な乾燥終了時の含水率と一致した。よって、品温上昇停止時を乾燥終了とすれば良いことが判った。

#### 5. 主な発表論文等

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

中島 教博 (NAKAJIMA MICHIHIRO)  
宇都宮大学・農学部・准教授  
研究者番号：10008055

##### (2) 研究分担者

柏寄 勝 (KASHIWAZAKI MASARU)  
宇都宮大学・農学部・准教授  
研究者番号：00282385