

第2章

人工知能（AI）を活用した原料収穫及び選別の省力化

2.1 はじめに

道産食品の供給能力を維持するためには、労働人口の減少と高齢化による生産力の低下を防ぐことが課題である。一次産品の収穫作業や食品製造現場では、負担の重い作業や人手への依存が多く、生産力の低下を防ぐために、省力化による作業負担の軽減が重要である。

北海道のきのこ生産ではシイタケが最も多く作られており全国第4位の生産量となっている。シイタケ以外のエノキタケ等の瓶栽培では子実体（きのこ）を株のまま1回だけ収穫することから機械化・自動化され、その後の計量や包装のラインも確立している。一方、シイタケは菌床ブロックの全面から子実体が徐々に発生し成長するため、毎日、収穫適期の子実体を選んで人の手によって収穫する。また、収穫した子実体は大きさや形、傘の開き具合で等級や規格が決まり、熟練者による選別後、既定の重量にパック詰めする。このように、シイタケ栽培は瓶栽培に比べ機械化・自動化が遅れ作業に多くの人手を要している。

2.2 シイタケ発生面を限定させる栽培技術の検討と実証背景

労働人口の減少等により、生産量の多いシイタケ生産現場で人手の確保が難しくなっている。生産力維持のために、人手のかかる収穫作業や商品出荷前の選別、パック充填作業の省力化に対するニーズが強くなっている。生産量の多いシイタケの菌床栽培は他のきのこ（瓶栽培のエノキタケ、ブナシメジ等）と異なり、通常培地上面に加えて側面からもシイタケが発生するため、収穫作業が複雑で手間がかかる。特に初回の発生で小粒な子実体が集中発生する傾向があるため、培養後期に高温処理したり、幼子実体の段階で一部除去する芽掻き処理をしたりして、発生子実体数の調整が行われている¹⁾。また、収穫の省力化を図るために、菌床の側面と底面を浸水してシイタケの発生面を限定する上面栽培²⁾が行われている。

シイタケ菌床栽培における芽掻きや収穫の労力を低減させるために、既存の上面発生的大幅な改善や新たな上面発生の手法開発を行い、省力化の検証を行った。

1) 広口円筒容器を用いたシイタケの試験栽培

(1) 目的

発生面を上面に限定した新たなシイタケ栽培を目指すにあたり、通常の瓶口が細くなったきのこ栽培瓶ではシイタケ菌床が収縮した後に発生したシイタケ子実体が瓶の肩部に衝突し、上部に出られないことが考えられた。そこで2種類の広口瓶で栽培し、栽培中の様子を確認することとした。将来的な普及を考え、北海道で最も一般的な培地組成および種菌を用いて試験栽培を実施した。

(2) 試験方法

1L容の細長（以下1L細長、図1-1左）および3L容の幅広（以下3L幅広、図1-1右）の2種類の広口円筒容器に表1-1の組成の培地を詰め、121℃で30分間滅菌したのち無菌室で放冷し、市販種菌（森XR1号、森産業（株））を接種した。その後、温度22±1℃、湿度70±10%の暗条件で3か月培養した後、温度16±1℃、湿度85±10%で照度約350 lxの12時間/日照射で管理された発生室へ菌床を移動し、シイタケ子実体を発生させた。

発生開始日から21日ごとにシイタケ子実体発生を促すための浸水処理を行い、発生開始日から21日間の収穫を一次発生とし、その後浸水によって区切られた収穫を二次発生、三次発生、四次発生、五次発生とした。表1-2のように条件を変えてシイタケを栽培し、一部の菌床については培地全体への菌糸蔓延が確認されたところでアルミホイルまたは黒色厚紙で側面及び底面を遮光した。シイタケ子実体は膜切れ前後を収穫適期として収穫し、サイズ毎に分別した上で個数および生重量を測定した。子実体のサイズは、LL（49g以上/個）、L（29g以上49g未満/個）、M（14g以上29g未満/個）、S（7g以上14g未満/個）、SS（7g未満/個）とした。

(3) 結果および考察

1L細長の容器でのシイタケ子実体のサイズ別収量を図1-2に示す。菌床6のように子実体が収穫できなかった条件もあったが、菌床2では288gの子実体が収穫され、収益可能性が考えられる量（詰込培地湿重量÷3の子実体重量；以降は目標収量と表記、菌床番号1～5では250g）³⁾を超えた。接種孔を開けた条件で菌糸の蔓延が早く、概ね収量が良い場合が多かった。封入条件はきのこ栽培用のポリプロピレン製袋から試作したフィルター付シートで蓋をする条件（以下、試作蓋）、および遮光条件はアルミホイルが菌床の良好な水分・光管理に適していると考えられた。収穫された子実体においては、従

来の菌床栽培と比較して全体的に SS サイズが少なく、M サイズ以上が多かったことから間引き作業の手間が軽減できる可能性が考えられた。図 1-3 に示すように、形やサイズの良いシイタケを、発生面を限定して収穫できる可能性が示唆された。

3L 幅広の容器でのシイタケ子実体のサイズ別収量を図 1-4 に示す。大粒サイズが多かったものの、どの菌床も目標収量に達しなかった。大きな要因としては、図 1-5 に示す代表的な写真のように培養や収穫期間で菌床が収縮して容器と菌床の間に空間ができ、隙間から菌床側面に光が当たり側面からシイタケ子実体が発生し、潰れて形態不良となったことが推察された。

図 1-6 に示すように、1L 細長でも 3L 幅広より少ないが側面から発生するシイタケ子実体が観察された。菌床シイタケを全面発生させた際には、重力で水分が底部に集まり菌床上面が乾燥傾向になることが経験的に知られており、上面の乾燥が側面からの発生の要因のひとつと推測され、収穫期間の上面の乾燥対策が必要と考えられた。

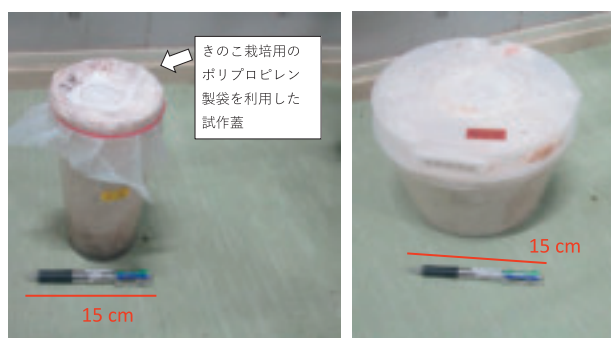


図 1-1 発生面を限定したシイタケ栽培のために用いたポリプロピレン容器 (左: 1L 細長、右 3L 幅広)

表 1-2 菌床の作成および栽培条件

プラ容器	菌床番号	詰め量g	接種孔 ^{*1}	封入	遮光	接種後遮光処理 ^{*2}
1L細長	1	750	有	試作蓋 ^{*3}	アルミ	27 日目
	2	750	有	試作蓋	アルミ	26 日目
	3	750	有	栽培袋 ^{*4}	黒紙	25 日目
	4	750	有	試作蓋	なし	-
	5	750	なし	栽培袋	アルミ	50 日目
	6	675	有	試作蓋	アルミ	22 日目
	7	675	有	試作蓋	アルミ	21 日目
	8	675	なし	試作蓋	アルミ	41 日目
	9	675	なし	試作蓋	アルミ	41 日目
	10	675	なし	試作蓋	アルミ	40 日目
3L幅広	11	2100	有	専用蓋 ^{*5}	アルミ	17 日目
	12	2100	有	専用蓋	アルミ	16 日目
	13	2100	有	専用蓋	アルミ	15 日目
	14	1890	なし	専用蓋	アルミ	23 日目
	15	1890	なし	専用蓋	アルミ	23 日目
	16	1890	なし	専用蓋	アルミ	18 日目

^{*1}接種孔：培地上面から底面に向けて作る細長い空洞で、種菌の一部を培地下部に落とし込んで菌糸を上下から伸長させて菌糸の蔓延（菌回り）を早めるための孔。

^{*2}接種後遮光処理：培地全体への菌糸の蔓延を確認して遮光処理を開始した日数。

^{*3}試作蓋：図 1-1 左のように栽培袋のフィルター周辺を切り取り、1L 細長プラ容器の開口面を覆い、シリコンゴムバンドで固定した蓋。

^{*4}栽培袋：0.4 μm 程度の孔径のフィルターを備えた市販 1.3kg 菌床用ポリプロピレン製袋（ミキパック、三鬼産業製）で 1L 細長プラ容器全体を包んだ。

^{*5}専用蓋：3L 幅広プラ容器の蓋（図 1-1 参照）。

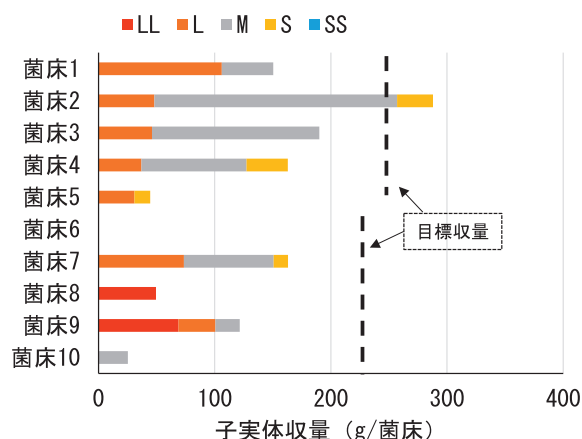


図 1-2 1L 細長の容器によるシイタケ子実体収量

表 1-1 シイタケ菌床の培地組成（乾物 g/培地）

	材料	乾物 g/菌床kg
おが粉	ナラ	210
	カンバ	90
栄養材	デルトップ [*]	100
水	水道水	600
計		1000

^{*}森産業（株）製きのこ菌床用栄養材



図 1-3 1L 細長の容器での 1 次発生の様子



図 1-4 3L 幅広の容器によるシイタケ子実体収量



図 1-5 3L 幅広の容器によるシイタケ子実体の形態不良の例



図 1-6 1L 細長における形態不良シイタケの例

2) 袋栽培での遮光処理の影響

(1) 目的

発生面を上面に限定した新たなシイタケ栽培を目指すにあたり、現状の北海道で一般的なシイタケ菌床栽培方法に近い方法の開発を試みた。

(2) 試験方法

ア. 試験 1

0.4 μm 程度の孔径のフィルターを備えたシイタケ栽培用のポリプロピレン製袋（ミキパック MP13-C-25 ϕ 、三鬼産業製）に、カンバおが粉 300 g、デルトップ 100 g（いずれも絶乾重量）および水 600 g を混合した培地 1kg を詰め、1) (2) と同様に滅菌処理してシイタケ種菌森 XR1 号を接種した。12 個の菌床を調製し、それぞれ菌床 1、菌床 2、・・・菌床 12 と番号を付けて管理した。1) (2) と同様に 22℃ で菌床を培養し、16℃ で子実体を発生させた。培地への菌糸の蔓延を観察し、半分以上の菌床の菌糸の蔓延が完了した接種後 34 日目に、菌床 1～9 はアルミホイルで上面以外を包むことによる遮光処理を施し、菌床 10～12 は黒色厚紙で上面以外を包むことによる遮光処理を施した。1) (2) と同様にシイタケ子実体を収穫し、サイズ別に個数および収量を測定した。

イ. 試験 2

試験 1 と同じ材料割合で 1 菌床あたりの湿重量を 1.3 kg とした培地を袋に詰め、森 XR1 号を接種した。培地を詰めた後に、直径 30 mm 程度の木製の棒を培地の上から差し込み、培地の中央に接種孔を開けた試験区（以下、孔あり区）と接種孔を開けずに上面を平滑にした試験区（以下、孔なし区）を用意した。菌糸の蔓延の完了が観察された日にアルミホイルを用いて遮光処理をした。浸水処理を 2 回実施し、3 次収穫まで 1) (2) と同様にシイタケ子実体を収穫し、サイズ別に個数および収量を測定した。

ウ. 試験 3

試験 2 と同様に袋に、表 1-1 の組成の培地を湿重量で 1.3 kg 詰め、1) (2) と同様に滅菌処理してシイタケ種菌森 XR1 号を接種した。処理の異なる下記の 3 試験区を 5 菌床ずつにより設けた。菌回りの完了が観察された日にアルミホイルを用いて遮光処理し、3 か月の培養終了時に培養袋の上面部分のみを除去した（以下、アルミ区）。アルミ区と同様にアルミホイルで遮光処理した上に、自己融着シリコンゴムテープを巻いた外側にさらに透明梱包テープを巻き、アルミ区と同様に培養終了後に培養袋の上面部分のみを除去した（以下、シリコンゴムテープ区）。3 か月の培養終了時に袋をすべて除去し、菌

床全面から発生させた（以下、対照区）。浸水処理を3回実施し、4次収穫まで1）（2）と同様にシイタケ子実体を収穫し、サイズ別に個数および収量を測定した。

（3）結果および考察

ア．試験1

表1-3に、発生後の遮光材の処理を示す。菌床2、10、11および12は菌床側面や上面の縁等から多数の子実体の発生が見られ、袋と遮光材を外して発生の途中から全面発生させることとした。菌床側面と遮光材の間の隙間を観察すると、黒色厚紙では隙間が大きく、菌床側面が光や外気にさらされやすくなっている様子であった。アルミホイルについても発生段階の途中で50日頃に隙間が目立ったことからアルミホイルの巻き直しや人手での圧迫によって菌床側面と密着させる処理を行った。図1-7左に遮光処理シイタケ菌床の初回発生の様子（発生開始10日目）を示し、図1-7右に黒色厚紙遮光処理における側面の隙間からのシイタケ発生の様子を示す。

図1-8に5次発生まで収穫した遮光処理の収量を示す。菌床6では形態が良好でサイズがM以上の子実体だけで、1kg菌床の目標収量である330gの子実体収量を超え、上面から発生させられる可能性が示された。

イ．試験2

孔あり区の1次発生において、菌床側面からSサイズおよびSSサイズの子実体の多発が見られ形態不良の割合が高くなり（図1-9）、袋とアルミホイルを除去して全面発生に切り替えた。孔なし区の1次発生では菌床側面から特に旺盛な発生が見られて形態不良の数が多かったのは10反復中の1菌床のみで、その1菌床のみの袋とアルミホイルを除去して栽培を続行した。

孔なし区の3次発生までの収量の合計を図1-10に示す。1週間に一度程度遮光材のアルミホイルを菌床に押し付ける管理を行い、2次発生以降は側面から発生して形態不良になることが抑えられた。しかしながら、良品の合計は1.3kg菌床の湿重量の33%である433gの子実体収量を大きく下回り、改善する必要があることがわかった。

ウ．試験3

図1-11に栽培袋を用いた菌床栽培において遮光方法を変えた際の発生次別収量を示す。アルミ区とシリコンゴムテープ区を比較すると、シリコンゴムテープ区では形態不良が著しく抑えられ、良品の収量も多かった。対照区は形態不良が発生せず良品のみであったが、三次発生と四次発生では子実体が得

られなかった。

図1-12に遮光方法を変えた菌床における良品のサイズ別収量を示す。シリコンゴムテープ区は対照区と比べてL以上のサイズ割合が多かった。本試験の3試験区の収量はいずれも1.3kg菌床の湿重量の33%を大きく下回り、培養や栽培管理の改善の必要性が考えられたが、シリコンゴムテープ区は対照区の全面発生と比べて同等以上の良品収量および、Lサイズ以上の大粒シイタケの増加が見られ、また、発生面が概ね限定されることも確認された。シリコンゴムテープは伸縮性があり、菌床を軽く締め付けるように菌床側面を覆ったことから、遮光材と菌床の間に隙間ができにくく、シイタケ子実体の発生が抑えられた可能性が考えられた。

表 1-3 袋を用いた菌床栽培の遮光処理における発生後の遮光材の管理

	遮光材料	発生開始から（日）	
		遮光材 巻き直し	袋と遮光 材除去
菌床1	アルミホイル	44	－
菌床2	アルミホイル	44	66
菌床3	アルミホイル	44	－
菌床4	アルミホイル	44	－
菌床5	アルミホイル	44	－
菌床6	アルミホイル	44	－
菌床7	アルミホイル	44	－
菌床8	アルミホイル	44	－
菌床9	アルミホイル	44	－
菌床10	黒色厚紙	－	22
菌床11	黒色厚紙	－	70
菌床12	黒色厚紙	－	66



図 1-7 シイタケ栽培袋を用いた菌床に遮光処理をした際の一次発生の様子
左：上面から子実体が発生する様子、右：黒色厚紙遮光処理の側面の隙間で子実体が発生する様子

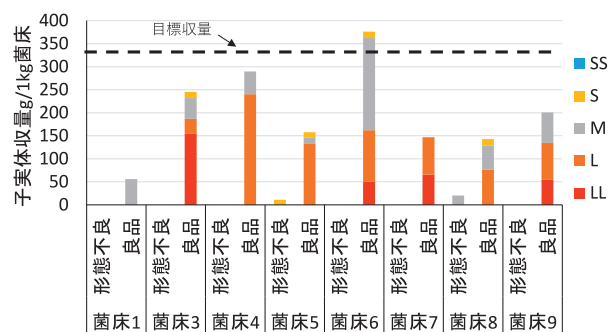


図 1-8 シイタケ栽培袋を用いた菌床に遮光処理をした際の5次発生までのサイズ別収量

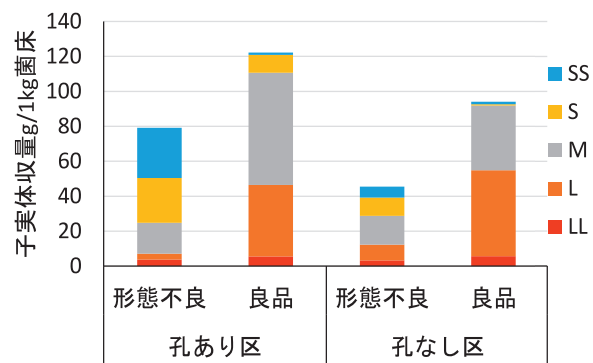
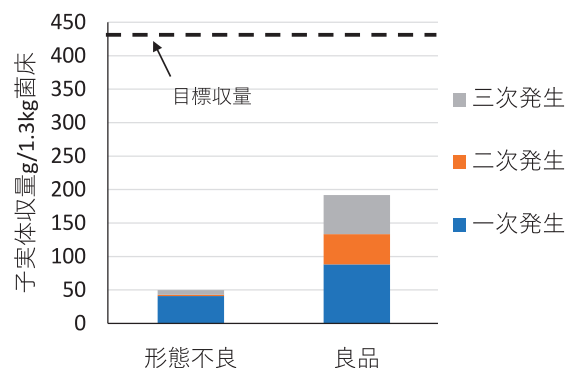


図 1-9 シイタケ栽培袋を用いた菌床に接種孔処理および遮光処理をした際の1次発生時のサイズ別収量 (n=10)



1-10 シイタケ栽培袋を用いた菌床に遮光処理をした際の3次発生までの収量 (n=9)

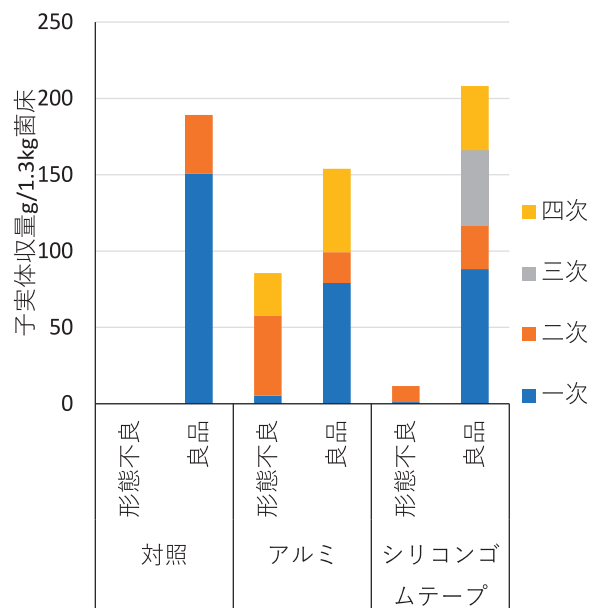


図 1-11 栽培袋による菌床の遮光方法を変えた際の発生次別収量 (n=5)

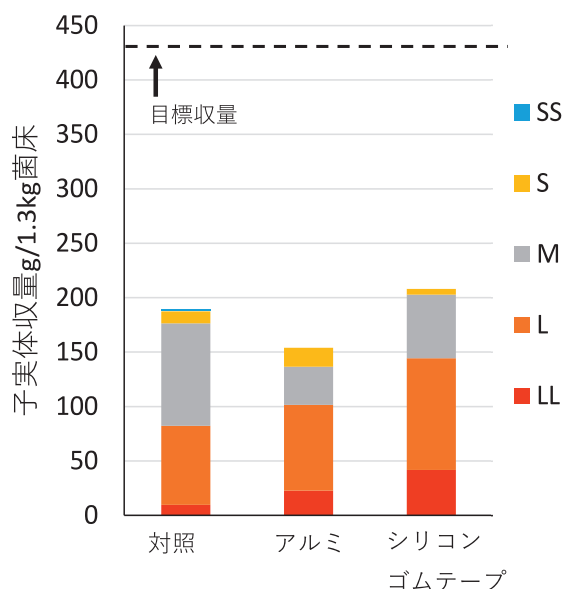


図1-12 遮光方法を変えた菌床による良品シイタケのサイズ別収量 (n=5)

3) ステンレス容器を用いた栽培

(1) 目的

発生面を上面に限定した新たなシイタケ栽培を目指すにあたり、機械収穫に適した上面かつ等間隔な子実体発生パターンを、剛性の障害物で発生面を限定した栽培容器により誘導できる可能性を検証するため、薄型ステンレス容器を用いた試験栽培を実施した。

(2) 試験方法

ステンレス製バットに表1-1の組成の培地を2500g 詰めた上に直径10mm、20mmあるいは30mmの孔を等間隔に25個開けたステンレス板（以降はパンチングメタル板と表記）を押しつけ蓋をした菌床を作製した（孔径による各試験区 n=5）。その後菌床の入ったバットをポリプロピレン製栽培袋に入れ、121℃で30分間高圧殺菌したのち無菌室で放冷し、市販種菌（森XR1号）を接種し、栽培袋をシールした。接種後は温度 $22 \pm 1^\circ\text{C}$ 湿度 $70 \pm 10\%$ 暗条件で、菌糸の蔓延と表面の褐変を確認できるまで培養した（約60日～90日）。温度 $16 \pm 1^\circ\text{C}$ 、湿度 $85 \pm 10\%$ で照度約350 lxの12時間/日照射で管理された発生室へ除袋した菌床を移動し、シイタケ子実体を発生させた（図1-13）。発生開始の時点でパンチングメタル板と菌床の間に空隙が見られたため、シリコンバンドで2カ所固定した（図1-14）状態で38日間管理し、1) (2)と同様にシイタケ子実体を収穫し、サイズ別に個数および収量を測定した。なお、培地詰込時の余剰分をステンレス製バットに詰込み同様に栽培したものを、試験外として発生パター



図1-13 パンチングメタル板を乗せた菌床にシイタケ種菌を接種する様子



図1-14 シリコンバンドで固定されたパンチングメタル板

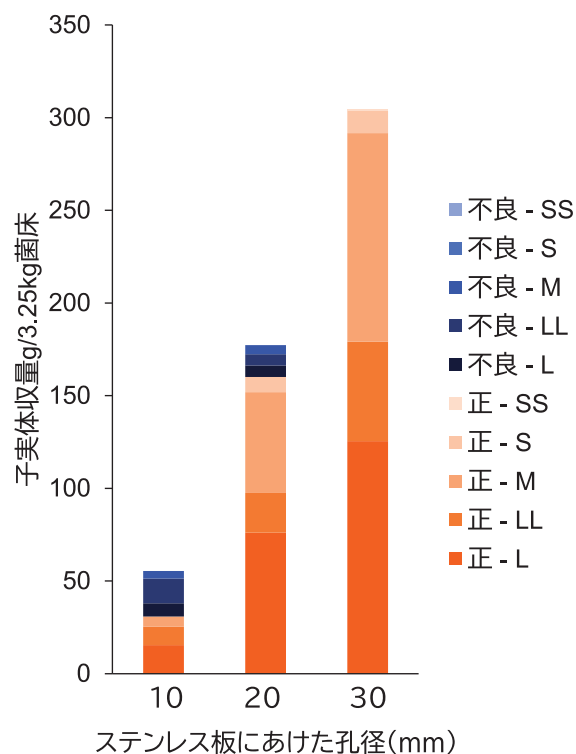


図1-15 パンチングメタル板菌床の一次発生までのサイズ別収量 (n=5)



図 1-16 パンチングメタル板菌床孔径 20 mm 区のシイタケ発生の様子

ンを観察した。

(3) 結果および考察

一次発生で収穫された子実体のサイズ別収量を図 1-15 に示す。孔径 20 mm 以下のパンチングメタル板では板を押し上げながら発生するシイタケが多数確認され（図 1-16）、収量も菌床重量の 10% にも満たなかった（図 1-15）。対して、孔径 30 mm のパンチングメタル板では概ね孔空き部からシイタケが発生し（図 1-17）、菌床重量の 1 割に当たる量のシイタケが発生した。また、孔径 30 mm 区では 1 つの孔から 2 本のシイタケが発生したり、パンチングメタル板の縁と容器の隙間から発生するシイタケも見られた（図 1-18）。試験外区の菌床ではシイタケの発生場所が特定の位置に集中し、芽数も多数確認されたことから（図 1-19）、パンチングメタル板の装着によって芽数を抑える効果が得られたことが推察される。



図 1-17 パンチングメタル板菌床孔径 30 mm 区のシイタケ発生の様子



図 1-18 パンチングメタル板菌床孔径 30 mm 区の根元の様子（上）と容器縁から発生した奇形シイタケ（下）



図 1-19 パンチングメタル板を乗せなかった試験外菌床におけるシイタケ発生の様子

表 1-4 菌床の水漬け発生による栽培試験の培地組成と詰め重

	HB, HL	HH
詰め重(g)	2500	1250
ナラ	525	263
カバ	225	112.5
バイデル*	250	125
水	1500	750
設定水分率(%)	60.0	60.0

*(株)北研製きのこ菌床用栄養材



HL コンテナ一括で水漬け



HU 慣行の上面栽培
(主に本州での栽培法)



HH 縦1/2にした菌床

図 1-20 栽培試験①の試験区概要

4) 菌床の水漬け発生による栽培試験

(1) 目的

シイタケ子実体の発生面を上面に限定する好適な栽培方法を検討するため、菌床を水漬けしながら子実体発生を行う方法を検討した。

(2) 試験方法

フィルター付きポリプロピレン栽培袋(ミキパック MT-S25B、三鬼産業)に表 1-4 の組成の培地を詰め、121℃で 30 分間滅菌したのち無菌室で放冷し、市販種菌(北研 607S、北研)を接種し、温度 20±1℃湿度 70±10%暗条件で 75 日培養した。その後、慣行の上面栽培区(以下 HU 区、図 1-20 中央)および HU 区の短軸辺を半分とした菌床の上面栽培区(以下 HH 区、図 1-20 右)は栽培袋の上部を切り取り、20℃の水道水を栽培袋に注ぎゴムバンドで袋上端を固定し、20±1℃湿度 70±10%暗条件・25 日間の追加培養を行った。一方、複数菌床を一括して浸水した試験区(以下 HL 区、図 1-20 左)はプラスチックコンテナ(ばんじゅう、サンコー)に菌床を 6 ブロックずつ入れた状態で、同様の注水・追加培養を行った。

培養後、温度 16±1℃、湿度 85±10%で照度約 350 lx の 12 時間/日 照射で管理された発生室へ菌床を移動し、シイタケ子実体を発生させた。発生中は水位低下時の注水や、水の濁りが発生した際に水の交換を適宜行い、発生開始日から 130 日間管理を継続し、1)(2)と同様にシイタケ子実体を収穫し、サイズ別に個数および収量を測定した。

(3) 結果および考察

シイタケ菌床コンテナで一括水漬けしたで試験区(HL 区)で高収量、子実体が大粒化する傾向がみられた(図 1-21)。

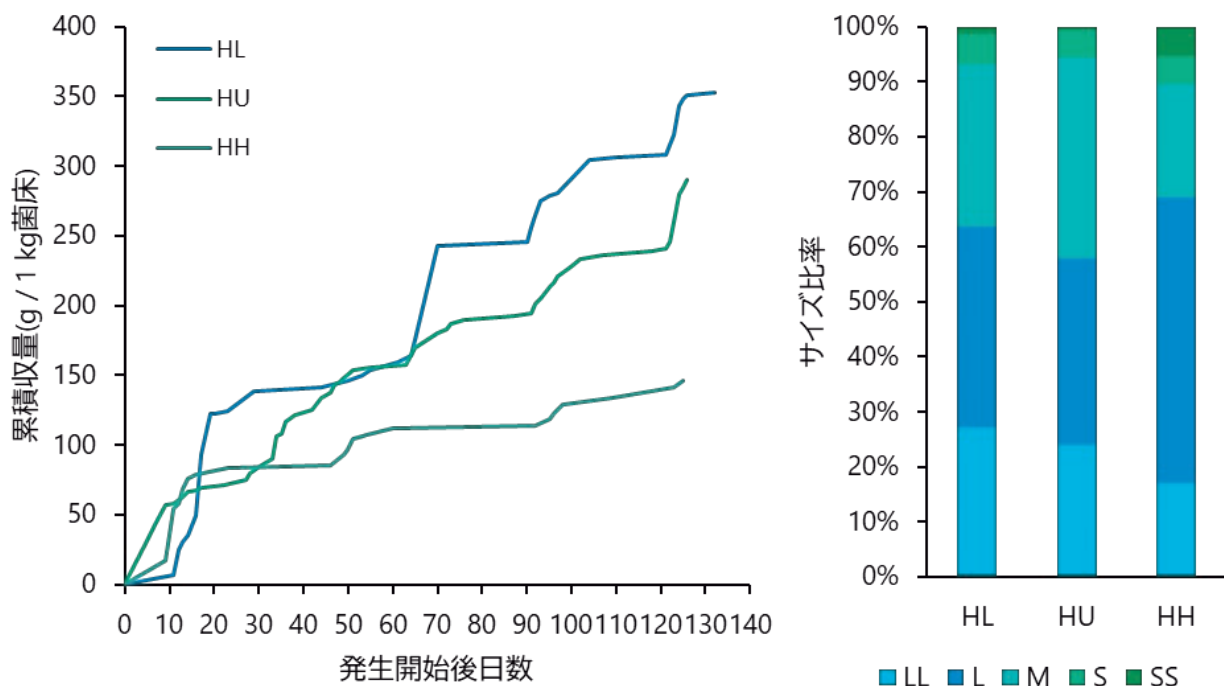


図 1-21 菌床の水漬け発生による栽培試験のシイタケ累積収量(左)と子実体サイズ比率(右)
HL, HU, HH : 図 1-20 参照

5) アルミ遮光・プラスチック広口容器を用いた栽培試験

(1) 目的

シイタケ子実体の発生面を上面に限定する好適な栽培方法を検討するため、1) で好成績だったアルミ遮光・プラスチック広口瓶を用いて栽培試験を行った。

(2) 試験方法

1L 容の細長 (以下 1L 細長)、1.3kg 菌床用ポリプロピレン栽培袋および 3L 容の幅広 (以下 3L 幅広) を用いて表 1-5 に示す組成で各容器に培地を詰め、121℃で 30 分間滅菌したのち無菌室で放冷し、市販種菌 (森 XR1 号、森産業) を接種した。その後、温度 $22 \pm 1^\circ\text{C}$ 、湿度 $70 \pm 10\%$ 暗条件で 3 か月培養した後に、温度 $16 \pm 1^\circ\text{C}$ 、湿度 $85 \pm 10\%$ で照度約 350lx の 12 時間/日 照射で管理された発生室へ菌床を移動し、シイタケ子実体を発生させた。発生開始日から 21 日ごとにシイタケ子実体発生を促すための浸水処理を行い、発生開始日から 21 日間の収穫を一次発生とし、その後浸水によって区切られた収穫を二次発生、三次発生、四次発生、五次発生と区切った。表 1-5 のように条件を変えてシイタケを栽培し、一部の菌床については培地全体への菌糸蔓延が確認されたところでアルミホイルを用いて側面及び底面を遮光した。

子実体発生期間は、おがくず用水分計 (TK100W、ハイガー産業) を用いた菌床表面水分に応じた加水処理を行った。なお、水分測定値はセンサーを菌床に突き刺して 5 秒間静置した際の値を記録した。週に 3 回 (基本は月・水・金) 水分を測定し、除袋時 (栽培袋内での培養完了直後) の表面水分量と同等となる表面水分 50% 区 (以下、試験区名に「M」を含むもの) は 3mL、より湿潤な条件とした表面水分 53% 区 (以下、試験区名に W を含むもの) は 10mL の水道水を、菌床上面に子実体を避けながら噴霧した (表面水分設定値および加水量は前実験により決定した)。併せて、試験区名に「K」を含む菌床については、菌床と容器に隙間ができていないか観察し、出来ていたら 50 mL ビオラモ遠沈管を楔打ちの要領で接種孔または縮みで生じた空隙に打ち込み隙間を埋めながら発生管理を行い、1) (2) と同様にシイタケ子実体を収穫し、サイズ別に個数および収量を測定した。

各収穫回で子実体発生の多い日に、各試験区から 3 個のシイタケをランダムに選び出して子実体の水分を測定した。アルミホイルで軽くシイタケ子実体を包み込み、105℃に設定したオーブンで 2 昼夜乾燥した際の加熱前後の重量を測定し、含水率を算出した。

(3) 結果および考察

試験結果概要を図 1-22 に示す。1L 細長容器およびアルミ巻き遮光菌床においては、楔打ちにて内側から膨張方向へ圧力をかけることにより、収量の増加傾向がみられ、特に未加水区（慣行条件）において効果的であった。また、菌床の形態に関わらず、表面加水により収量の増加が確認された。今回供試した条件において全面栽培（対照群）と比較し有望な栽培条件としては、1 L 細長容器を使用し多量の加水処理を施した 1W 区（264.1 g/菌床 1 kg）が、菌床上面からの発生に限定しながらも全面発生 1.3 kg 菌床（加水少）1.3CM 区（247.3 g/菌床 1 kg）に匹敵する収量を示した。なお、菌床加水区から収穫されたシイタケ子実体について、水きのこ（散水過多により含水量が著しく高くなった子実体）の兆候は見られなかった（図 1-23）。

	1L 細長プラ	1.3kg袋	3L 幅広プラ 2.5kg袋
詰め重(g)	750	1300	2100
ナラ(g)	158	273	441
カバ(g)	67.5	117	189
デルトップ(g)	75	130	210
水	450	780	1260
設定水分率(%)	60.0	60.0	60.0

容器	楔	表面水分	供試数	略称
1L細長プラ(アルミ遮光)	なし	加水無し	5	1D
		加水少	5	1M
		加水多	5	1W
	あり(細)	加水無し	5	1KD
		加水少	5	1KM
		加水多	5	1KW

1L容
プラ容
器



1L容
プラ容
器
+楔打ち



容器	楔	表面水分	供試数	略称
1.3kg袋 (栽培袋 の上から アルミ巻 きして遮 光)	なし	加水無し	5	AD
		加水少	5	AM
		加水多	5	AW
	あり(細)	加水無し	5	AKD
		加水少	5	AKM
		加水多	5	AKW

アルミ
巻菌床



アルミ
巻菌床
+楔打ち



容器	楔	表面水分	供試数	略称
3L幅広 プラ	あり(太)	加水多	5	3W
	なし	加水多	5	3KW

3L容
プラ容
器
+楔打ち



対照区(全面栽培)

容器	菌床g	表面水分	供試数	略称
1.3kg袋	750	加水少	5	1.3CM
		加水多	5	1.3CW
2.5kg袋	2100	加水少	5	2.5CM
		加水多	5	2.5CW

1.3 kg菌床
(対照群)



2.5 kg菌床
(対照群)



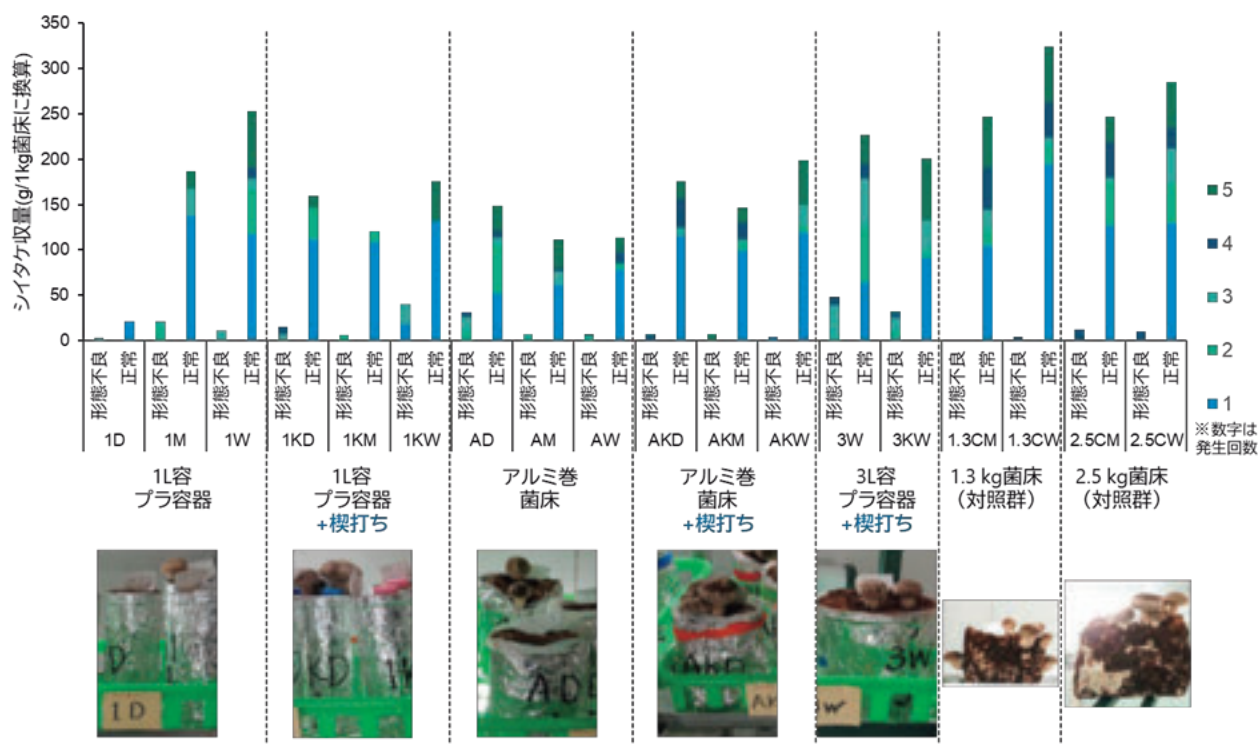


図 1-22 アルミ遮光栽培試験各試験区のシイタケ発生収量

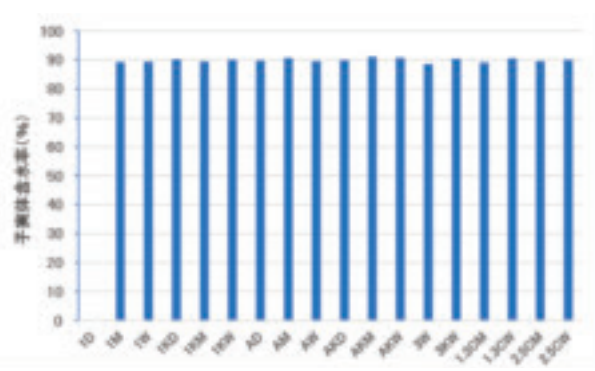


図 1-23 各試験区の子実体含水率

6) 新たな栽培方法の選定

(1) 目的

発生面を上面に限定した新たなシイタケ栽培を目指すにあたって、既存の上面栽培技術として継続的に菌床側面や下面を浸水した状態で上面からシイタケを発生する技術があるが、側面発生を制御することが難しかったり、菌床を浸水している水の交換が必要だったりする。そこで浸水を必要としない注水⁴⁾で菌床の水分を制御する栽培技術を検討した。

(2) 試験方法

種菌として、森 XR1 号（森産業製）と北研 607 号（北研製）を供試した。市販のシイタケ種菌を栽培試験にそのまま使用した。培地基材として、ミズナラ（以下、ナラ）、シラカンバ（以下、カンバ）のおが粉を用いた。栄養材として、デルトップ（森産業

製）を用いた。カンバとナラのおが粉を 3 : 7（重量比）で混合した。おが粉にデルトップ 10%（乾重換算）を混合し、水分を 60% に調整した。トレー方式による栽培用には森 XR1 号の種菌を用いた。ステンレス製トレー（外寸 270 × 188 × 80mm）に培地 2kg 充填し、栽培袋に挿入し、121℃ で 30 分間高圧殺菌した後に放冷した。コンテナ方式による栽培用には北研 607 号の種菌を用いた。栽培袋に培地 2.5kg 充填し、121℃ で 30 分間高圧殺菌した後に放冷した。

種菌を接種して、温度 22 ± 1℃、相対湿度 70 ± 10%、暗条件下で 2 か月間（森 XR1 号；トレー方式）、75 日間（北研 607 号；コンテナ方式）培養した。培養終了後、菌床を発生室へ移動し子実体を発生させた。発生室は、温度 16 ± 1℃、相対湿度 85 ± 10%、照度約 350 lx（白色蛍光灯 FL20S-W、東芝ライテック（株）、12 時間／日）で管理した。菌床表面の処理方法や菌床表面へのシリンジによる注水時期は表 1-6 の通りである。1) (2) と同様にシイタケ子実体を収穫し、サイズ別に個数および収量を測定した。なお、各試験区における供試菌床数は 2 または 6 とした。

(3) 結果および考察

道内で主流かつ全面栽培で普及している森 XR1 号でも、トレー栽培により上面栽培が可能であった（図 1-24）。本州で主流かつ上面栽培で普及している北研 607 号は、浸水方式による上面栽培もコンテ

ナによる一括上面栽培も可能である（図 1-25）。

森 XR1 号のトレー栽培では、細孔処理を行いシリ
ンジによる注水を行うことにより、継続的に上面限
定で発生させることが可能であった。菌床表面に 15
点細孔を開けた上でシリンジによる注水を行った
TP1 と TP2 は、収量の目標ラインを超えた（図 1-26）
ことから慣行栽培による発生量を上回る可能性が
高い。菌床表面の細孔処理については、上面栽培で
の菌床下部の浸水効率を高め、発生を促す方法⁵⁾が
提案されている。本研究では、浸水を不要とする散
水や注水の条件検討により省力化を目指す。

一方、北研 607 号の上面栽培試験では、発生収量
は HU（袋）と HB（コンテナ&水替え 3 回/週）が同
程度で、HL（コンテナ&水替え 1 回/週）は収量が低
かった（図 1-27）。同じコンテナ一括管理では、水
の取替え回数を増やすことが有効であったが、今回
の栽培試験では、標準的な培養期間（120 日）より
も短く（75 日）発生管理を開始したためか、発生収
量が予想より伸びなかった。

表 1-6 栽培方式と発生管理条件

形態	種菌	試験区名	備考	N	読め量(g)
トレー+ スリットメタル	森XR-1	TMC	鉄板なし	2	2000
		TM2	スリット幅2mm⇒細孔処理後に注射器 で注水(展開後37日より)	2	2000
		TM4	スリット幅4mm⇒細孔処理後に注射器 で注水(展開後37日より)	2	2000
		TM6	スリット幅6mm⇒細孔処理後に注射器 で注水(展開後37日より)	2	2000
トレー (褐変膜形成後に 細孔処理)	森XR-1	TPC	細孔処理なし(対照区)	2	2000
		TP1	細孔処理後に注射器で注水(展開後 37日より)	2	2000
		TP2	細孔処理後に注射器で注水(展開後 37日より)	2	2000
上面栽培 (2.5 kg 菌床)	北研607S	HU	袋(対照区)	6	2500
		HL	コンテナ演け(バルブ)水替え水のみ	6	2500
		HB	コンテナ(バルブ)水替え水金	6	2500

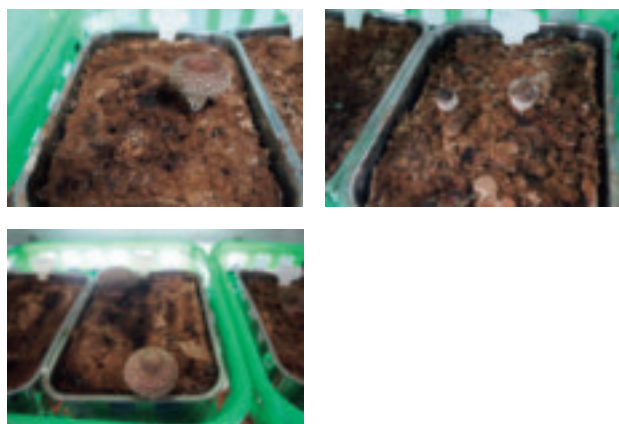


図 1-24 トレー方式による上面栽培の様子
(森 XR1 号)

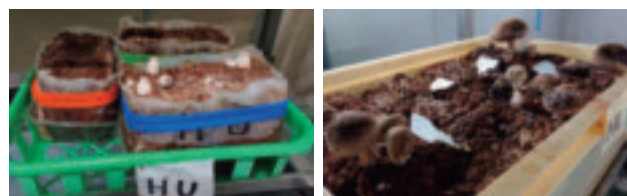


図 1-25 浸水方式による上面栽培の様子
(北研 607 号)

左：慣行栽培（2.5kg 培地） 右：コンテナ栽培（2.5 培地×6 菌床）

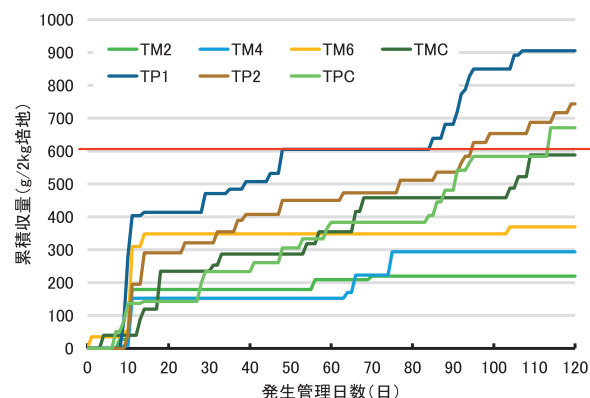


図 1-26 トレー方式による上面栽培の結果

2kg 培地で栽培を行った。赤線：目標ライン 注水する場
合には 3mL×15 点×5 日/週とした。

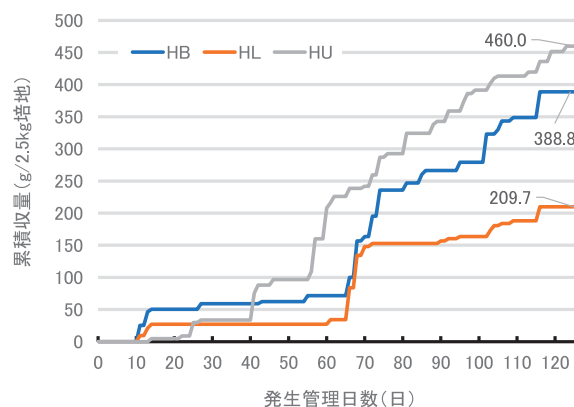


図 1-27 コンテナ方式による上面栽培の結果

7) 新たな栽培方法としてのトレー栽培の検討 1

(1) 目的

発生面を上面に限定した新たなシイタケ栽培を
目指すにあたって、既存の上面栽培技術として継続
的に菌床側面や下面を浸水した状態で上面からシ
イタケを発生する技術があるが、側面発生を制御す
ることが難しかったり、菌床を浸水している水の交
換が必要だったりする。そこで浸水を必要としない
散水や注水で菌床の水分を制御する栽培技術を検
討した。



図 1-28 トレー方式による上面栽培

左：慣行栽培（1.3kg 培地） 中と右：トレー栽培（2kg 培地）

表 1-7 供試培地と発生管理条件

試験区	培地	発生管理
MK	ナラ・カンバ	散水15mL×5日/週
MKA	ナラ・カンバ	注水3mL×15点×5日/週
MKB	ナラ・カンバ	注水3mL×15点×3日/週
MYA	ナラ・ヤナギ	注水3mL×15点×5日/週
MYB	ナラ・ヤナギ	注水3mL×15点×3日/週

(2) 試験方法

種菌として、森 XRI 号（森産業製）を供試した。市販のシイタケ種菌を栽培試験にそのまま使用した。培地基材として、ミズナラ（以下、ナラ）、シラカンバ（以下、カンバ）、オノエヤナギとエゾノキヌヤナギ混合（以下、ヤナギ）のおが粉を用いた。栄養材として、デルトップ（森産業製）を用いた。カンバとナラのおが粉あるいはヤナギとナラのおが粉を 3 : 7（重量比）で混合した。おが粉にデルトップ（森産業製）10%（乾重換算）を混合し、水分を 60%に調整し、ステンレス製トレー（外寸 270×188×80mm）に 2kg 充填し、栽培袋に挿入し、121℃で 30 分間高圧殺菌した後放冷した。

種菌を接種して、温度 22±1℃、相対湿度 70±10%、暗条件下で 2 か月間培養した。培養終了後、菌床を発生室へ移動し子実体を発生させた。発生室は、温度 16±1℃、相対湿度 85±10%、照度約 350 lx（白色蛍光灯 FL20S-W、東芝ライテック（株）、12 時間／日）で管理した。培地の種類と発生管理条件は表 1-7 の通りである。

1) (2) と同様にシイタケ子実体を収穫し、サイズ別に個数および収量を測定した。なお、各試験区における供試菌床数は 6 とした。

(3) 結果および考察

シイタケ菌床の発生面を上面に限定する栽培法を検討した結果、トレー栽培により継続した上面発生が可能で、子実体発生個数が減少することによる

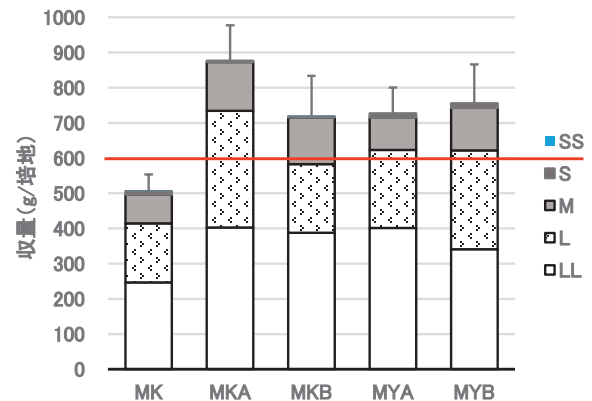


図 1-29 トレー方式による上面栽培の結果

2kg 培地で栽培を行った。バーは標準偏差（N=6）。赤線：目標ライン

MK：散水 MKA と MYA：注水量多い MKB と MYB：注水量少ない

子実体の大型化が特徴であった（図 1-28）。菌床内部への注水を行うことで、4 か月程度、継続的に大型サイズ（L サイズ以上が主体）のシイタケを上面発生させることが可能であった。さらに菌床への注水量を制御することで、発生量を制御することが可能であった。ステンレストレーに培地を充填した菌床で、注水量を制御することで収量の目標ラインをはるかに超えることに加えて、L サイズ以上の収量の割合が高くなった（図 1-29）。

8) 新たな栽培方法としてのトレー栽培の検討 2

(1) 目的

7) (1) と同様。

(2) 試験方法

種菌として、森 XRI 号（森産業製）を供試した。市販のシイタケ種菌を栽培試験にそのまま使用した。培地基材として、ミズナラ（以下、ナラ）、シラカンバ（以下、カンバ）のおが粉を用いた。栄養材として、デルトップ（森産業製）を用いた。カンバとナラのおが粉を 3 : 7（重量比）で混合した。おが粉にデルトップ（森産業製）10%（乾重換算）を混合し、水分を 60%に調整し、慣行区としてポリプロ

ピレン製栽培袋に1kg 充填した。また、試験区としてステンレス製トレー（外寸 270×188 ×80mm）に2kg 培地を充填し、栽培袋に挿入し、121℃で 30 分間高圧殺菌した後に放冷した。種菌を接種して、温度 22±1℃、相対湿度 70±10%、暗条件下で 63 日間培養した。培養終了後、菌床を発生室へ移動し子実体を発生させた。発生室は、温度 16±1℃、相対湿度 85±10%、照度約 350 lx（白色蛍光ランプ FL20S-W、東芝ライテック（株）、12 時間/日）で管理した。菌床表面の処理方法や菌床表面への電動スプレーおよび連続分注器による注水条件は表 1-8 と図 1-30 の通りである。1）（2）と同様にシイタケ子実体を収穫し、サイズ別に個数および収量を測定した。なお、慣行区の供試数は 10、各試験区における供試菌床数は 5 とした。

（3）結果および考察

シイタケ菌床の発生面を上面に限定する栽培法としてトレー方式を検討する際に、菌床内部への注水だけでなく、表面散水でも継続的に発生可能なことから、注水条件の最適化とともに、散水量の制御による省力化を検討した。

その結果、慣行区である MB 区は前半の発生増加が特徴であり、トレー方式の MTA 区、MTB 区、MTC 区は徐々に増加し、そのうち MTC 区は後半に MB 区と同程度に到達する傾向を示した（図 1-31）。菌床表面への散水、菌床内部への注水を行うことで、4 か月程度、継続的に大型サイズ（L サイズ以上が主体）のシイタケを上面から発生させることが可能であった。

さらに注水した MTC 区が MB 区の発生収量と同程度であった（図 1-32）ことから、菌床への注水量を制御することで、発生量を制御することが可能である。菌床発生面を上面に限定する栽培法として、トレーに培地を充填した菌床で注水量・散水量を制御することで、MB 区比 1.4～1.6 倍の個体重増加（図 1-32）による品質向上、収穫個数減少による省力化に寄与する可能性を示した。散水した MTA 区、MTB 区では MTC 区ほど発生収量は伸びないものの、個体重増加による品質向上による可能性を示した。

トレー方式による上面栽培では、培養終了後の発生管理において、注水量を制御することが重要である。ただのシリンジから連続分注器を使用することで、省力化を図ったが更なる省力化のために、園芸用の自動水やり機の使用（図 1-30）を検討する必要がある。また、実生産施設での検証に向けては、主に既存の生産システムに対する技術導入の課題を抽出する必要がある。

表 1-8 供試培地と発生管理条件

試験区	培地	発生管理
MB	ナラ・カンバ	慣行 浸水処理3回/110日間
MTA	ナラ・カンバ	散水20mL×5日/週
MTB	ナラ・カンバ	散水30mL×5日/週
MTC	ナラ・カンバ	注水3mL×15点×5日/週



図 1-30 新たな上面栽培技術の概要

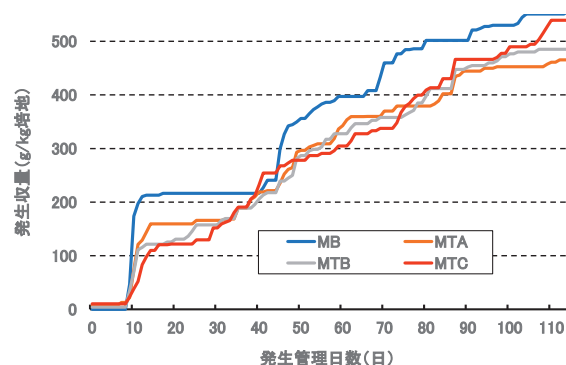


図 1-31 各試験区の累積発生収量（森 XR1 号）
慣行区は1kg 培地、試験区は2kg 培地

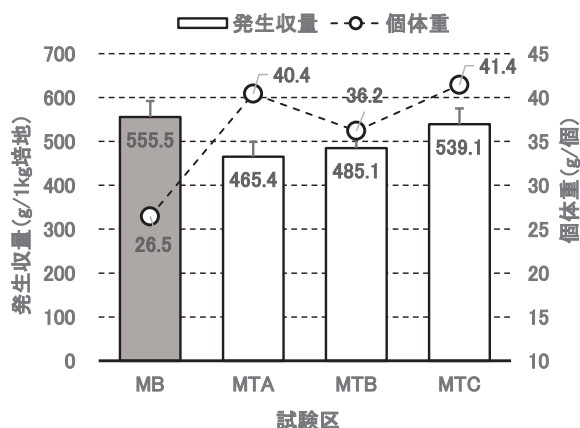


図 1-32 各試験区の発生収量と個体重（森 XR1 号）

9) トレー栽培における品種の影響

(1) 目的

発生面を上面に限定した新たなシイタケ栽培を目指すにあたって、既存の上面栽培技術として継続的に菌床側面や下面を浸水した状態で上面からシイタケを発生する技術があるが、側面発生を制御することが難しかったり、菌床を浸水している水の交換が必要だったりする。そこで浸水を必要としない散水等で菌床の水分を制御する栽培技術を検討した。異なる品種への適用について検討した。

(2) 試験方法

種菌として、北研 607 号（北研製）を供試した。市販のシイタケ種菌を栽培試験にそのまま使用した。培地基材として、ミズナラ（以下、ナラ）、シラカンバ（以下、カンバ）、オノエヤナギとエゾノキヌヤナギ混合（以下、ヤナギ）のおが粉を用いた。栄養材として、デルトップ（森産業製）を用いた。カンバとナラのおが粉あるいはヤナギとナラのおが粉を 3:7（重量比）で混合した。おが粉にデルトップ（森産業製）10%（乾重換算）を混合し、水分を 60%に調整し、慣行区としてポリプロピレン製栽培袋に 1kg 充填した。また、試験区としてステンレス製トレー（外寸 270×188 ×80mm）に 2kg 培地を充填し、栽培袋に挿入し、121℃で 30 分間高圧殺菌した後放冷した。種菌を接種して、温度 22±1℃、相対湿度 70±10%、暗条件下で 104 日間培養した。培養終了後、菌床を発生室へ移動し子実体を発生させた。発生室は、温度 16±1℃、相対湿度 85±10%、照度約 350 lx（白色蛍光ランプ FL20S-W、東芝ライテック（株）、12 時間/日）で管理した。培菌床表面の処理方法や菌床表面への電動スプレーおよび連続分注器による注水時期は表 1-9 の通りである。1) (2) と同様にシイタケ子実体を収穫し、サイズ別に個数および収量を測定した。なお、慣行区の供試数は 10、各試験区における供試菌床数は 5 とした。

(3) 結果および考察

トレーに培地を充填した菌床における注水・散水条件の最適化について、道外主要品種の北研 607 号で検討した。その結果、慣行区である HB 区は前半の発生増加が特徴であり、トレー方式の HTA 区、HTB 区、HTC 区は増加の度合いが緩慢であったが、注水を行った HTC で散水の 2 試験区に比べて発生収量が高くなる傾向を示した（図 1-33）。菌床表面への散水、菌床内部への注水を行うことで、4 ヶ月程度、継続的に大型サイズ（L サイズ以上が主体）のシイタケを上面から発生させることが可能であった（図

1-34）。

発生収量は HB には及ばなかったものの、注水した HTC 区の発生収量が高くなった（図 1-34）ことから、菌床への注水量を制御することで、発生量を制御することが可能である。また、HB 区比 2.4 倍の個体重増加（図 1-34）による品質向上、収穫個数減少による省力化に寄与する可能性を示した。さらに散水した HTA 区、HTB 区では HTC 区ほど発生収量は伸びないものの、個体重増加による品質向上の可能性を示した。

北研究 607 号で高収量となった HTC 区でも HB の発生収量より低かったことから、品種により効果の発現の仕方、最適な注水条件が異なる可能性がある。

表 1-9 各試験区と発生管理条件

試験区	培地	発生管理
HB	ナラ・カンバ	慣行 浸水処理3回/110日間
HTA	ナラ・カンバ	散水20mL×5日/週
HTB	ナラ・カンバ	散水30mL×5日/週
HTC	ナラ・カンバ	注水3mL×15点×5日/週

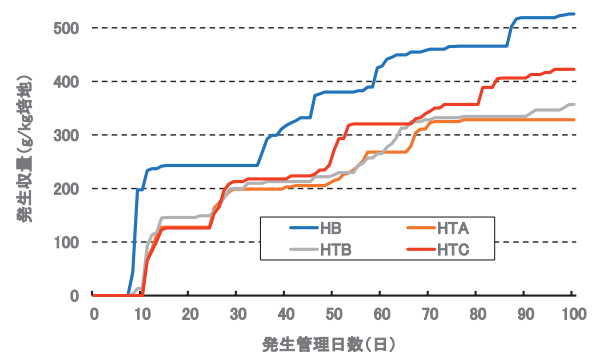


図 1-33 各試験区の累積発生収量（北研 607 号）
慣行区は 1kg 培地、試験区は 2kg 培地

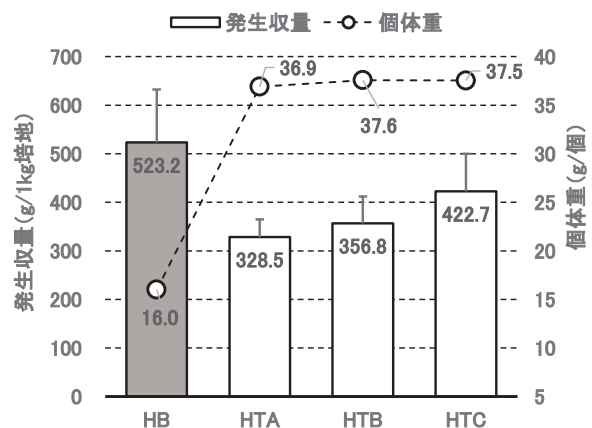


図 1-34 各試験区の発生収量と個体重（北研 607 号）

10) トレー栽培における散水および注水の効率化

(1) 目的

7) から 9) で浸水を必要としない散水や注水による菌床の水分制御により、上面栽培の可能性を高めることができたことから、散水および注水操作の効率化を検討した。

(2) 試験方法

種菌として、森 XR1 号 (森産業製) を供試した。培地基材として、ミズナラ (以下、ナラ)、シラカンバ (以下、カンバ) のおが粉を用いた。ナラとカンバのおが粉を 7:3 (重量比) で混合した。おが粉に市販栄養材デルトップ (森産業製) 10% (乾重換算) を混合し、水分を 60% に調整し、慣行区としてポリプロピレン製栽培袋 (三鬼産業、ミキパック MP13-C-25φ) に 1kg 充填した。また、試験区としてステンレス製トレー (外寸 270 × 188 × 80mm) に培地を 2kg 充填し、ポリプロピレン製栽培袋 (三鬼産業、ミキパック MT-S25B) に挿入してから、高圧殺菌 (121℃で 30 分間) した。

種菌を接種して、温度 $22 \pm 1^\circ\text{C}$ 、相対湿度 $70 \pm 10\%$ で 63 日間培養した後に、発生管理を開始した。発生室は、温度 $16 \pm 1^\circ\text{C}$ 、相対湿度 $85 \pm 10\%$ 、照度約 350 lx (白色蛍光ランプ FL20S-W、東芝ライテック (株)、12 時間/日) で管理した。注水処理条件の最適化において、菌床表面の処理方法や菌床表面へのシリンジによる注水時期は表 1-10 の通りである。発生管理開始後、菌床表面に細孔処理を行った後に菌床表面への電動スプレー (Zent 製、1.5L 容) 散水 (MTA 区)、連続分注器 (Socorex 製、10mL 用) 注水 (MTB 区)、自動水やり器 (藤原産業製、ノズル付点滴) 注水 (MTC 区) を行う条件を設定した。1) (2) と同様にシイタケ子実体を収穫し、サイズ別に個数および収量を測定した。なお、MTA 区の供試数は 10、他の試験区における供試数は 5 とした。

(3) 結果および考察

トレー方式による上面栽培で、注水操作や散水操作の省力化を図るために、電動スプレーによる散水、連続分注器および自動水やり器による注水操作を検討した (図 1-30)。培養終了後の発生管理において、注水量を制御することが重要である。

発生管理期間の累積発生収量および個数を図 1-35~36、発生収量および個体重を図 1-37 に示した。60 日間の培養後に、発生管理を開始した結果、いずれの条件でも発生が分散し、発生増加の程度が緩慢であった。散水や注水を行った各試験区の発生収量、発生個数および個体重に大きな違いはなく、注水の省力化を目指した自動水やり器による注水でも、発

生収量の低下は見られなかった。自動水やり器による注水操作の効率化、収穫の省力化が可能であり、散水でも可能性のある結果を示した。

トレー栽培における注水・散水処理条件の検討により、慣行栽培と同程度の発生収量で、品質向上、省力化の可能性を高めた。さらに散水処理を活用したトレー栽培、適用品種拡大の可能性を見出した。

表 1-10 各試験区と発生管理条件

試験区	培地基材	管理方法	N
MTA	ナラ・カンバ	散水20mL/日	10
MTB	ナラ・カンバ	注水3mL×15点/日 連続分注器	5
MTC	ナラ・カンバ	注水3mL×15点/日 自動水やり器	5

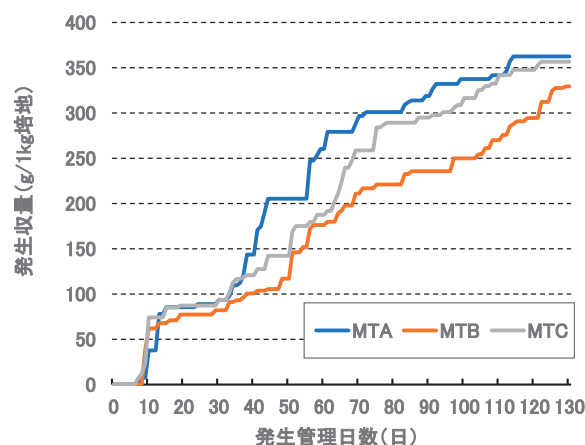


図 1-35 各試験区の累積発生収量 (森 XR1 号)

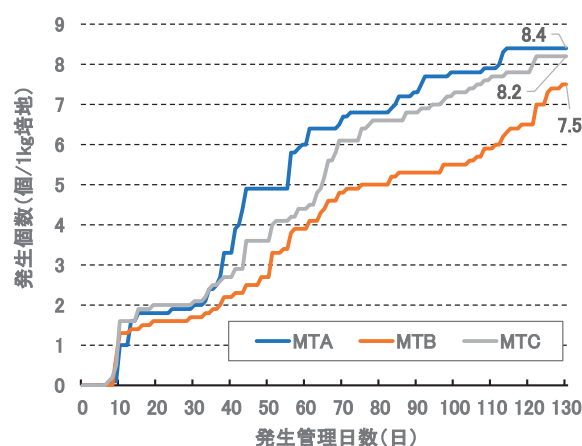


図 1-36 各試験区の累積発生個数 (森 XR1 号)

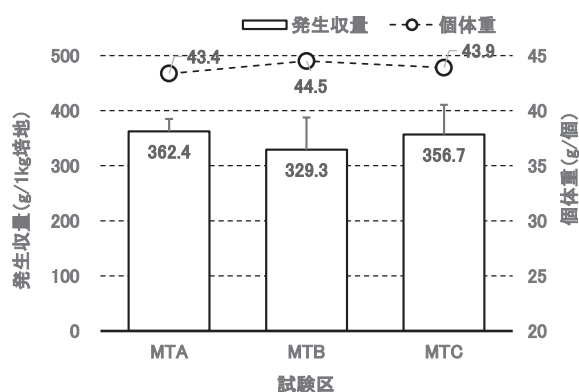


図 1-37 各試験区の発生収量と個体重(森 XR1 号)

11) トレー栽培のスケールアップの検討

(1) 目的

生産現場での技術移転を想定して、培地を充填する容器の種類を検討し、培地重量を増やし栽培面積当りの生産性向上を試みた。

(2) 試験方法

種菌として、森 XR1 号(森産業製)を供試した。培地基材として、ミズナラ(以下、ナラ)、シラカンバ(以下、カンバ)のおが粉を用いた。ナラとカンバのおが粉を 7:3(重量比)で混合した。おが粉に市販栄養材デルトップ(森産業製)10%(乾重換算)を混合し、水分を 60%に調整し、慣行区としてポリプロピレン製栽培袋(三鬼産業、ミキパック MP13-C-25φ)に 1.3kg 充填した。また、試験区としてポリプロピレン製コンテナ(内寸 292 × 292 × 85mm、サンボックス C)に培地を 5kg 充填し、ポリプロピレン製栽培袋(三鬼産業、ミキパック)に挿入してから、高圧殺菌(121℃で 30 分間)した。

種菌を接種して、温度 22±1℃、相対湿度 70±10% で 68 日間培養した後に、発生管理を開始した。発生室は、温度 16±1℃、相対湿度 85±10%、照度約 350 lx(白色蛍光ランプ FL20S-W、東芝ライテック(株)、12 時間/日)で管理した。注水処理条件の最適化において、菌床表面の処理方法や菌床表面へのシリンジによる注水時期は表 1-11 の通りである。発生管理開始後、菌床表面に細孔処理を行った後に菌床表面への電動スプレー(Zent 製、1.5L 容)散水(SA 区および LA 区)、連続分注器(Socorex 製、10mL 用)注水(SB 区および LB 区)、自動水やり器(藤原産業製、ノズル付点滴)注水(SC 区および LC 区)を行う条件を設定した。1)(2)と同様にシイタケ子実体を収穫し、サイズ別に個数および収量を測定した。なお、慣行区(B 区)の供試数は 10、各試験区における供試数は 2kg 培地 5、5kg 培地 4 とした。

(3) 結果および考察

トレー方式による上面栽培で、培地重量を増やした栽培規模拡大を検討した(図 1-38)。慣行栽培(1.3kg 培地)の場合、台車 1 台当り培地 50 個載せることが可能である。トレー栽培では 2kg 培地の場合 30 個、5kg 培地の場合 15 個載せることが可能であった。

発生管理期間の累積発生収量および個数を図 1-39~40、発生収量および個体重を図 1-41 に示した。68 日間の培養後に、発生管理を開始した結果、B 区以外はいずれの条件でも発生が分散し、発生増加の程度が緩慢であった。SB 区や SC 区の発生収量は後半に B 区と同程度に到達する傾向を示した。SB 区や SC 区のように菌床内部に注水する場合に SA 区より発生収量が高かった一方で、LB 区と LC 区は散水を行った LA 区より低くなり、培地重量により傾向が異なった。一方、個体重はトレー栽培で B 区の 1.31~1.69 倍となり(図 1-41)、個体重増加による品質向上、収穫個数減少による省力化に寄与する可能性を示した。

図 1-42 に栽培単位スペース当りの発生収量の比較を行った。台車 1 台分当りの収量は SB 区、SC 区、LA 区で B 区と同程度以上であった。LB 区と LC 区で培地重量当りの収量および台車 1 台分当りの収量が伸びなかった原因として、注水量が不足していた可能性がある。栽培規模拡大に向けては注水条件の再検討が必要と考える。

表 1-11 各試験区と発生管理条件

試験区	培地基材	培地重量 (kg)	管理方法	N
B	ナラ・カンバ	1.3	浸水	10
SA	ナラ・カンバ	2	散水20mL/日	5
SB	ナラ・カンバ	2	注水3mL×15点/日 連続分注器	5
SC	ナラ・カンバ	2	注水3mL×15点/日 自動水やり器	5
LA	ナラ・カンバ	5	散水50mL/日	4
LB	ナラ・カンバ	5	注水3mL×30点/日 連続分注器	4
LC	ナラ・カンバ	5	注水3mL×30点/日 自動水やり器	4



図 1-38 トレー方式による上面栽培

左：慣行栽培（1.3kg 培地） 中：トレー栽培（2kg 培地） 右：トレー栽培（5kg 培地）

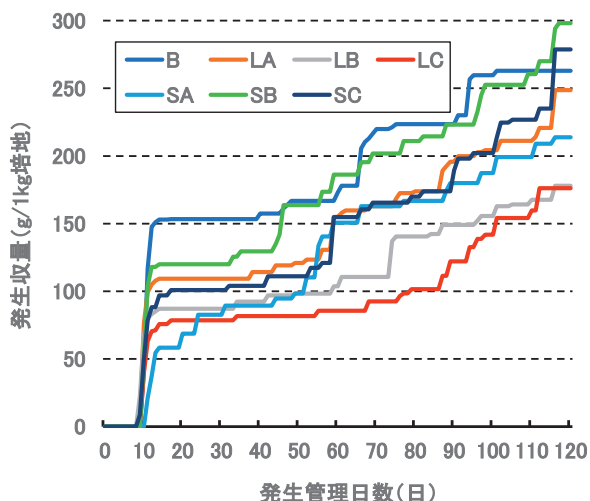


図 1-39 各試験区の累積発生収量（森 XR1 号）

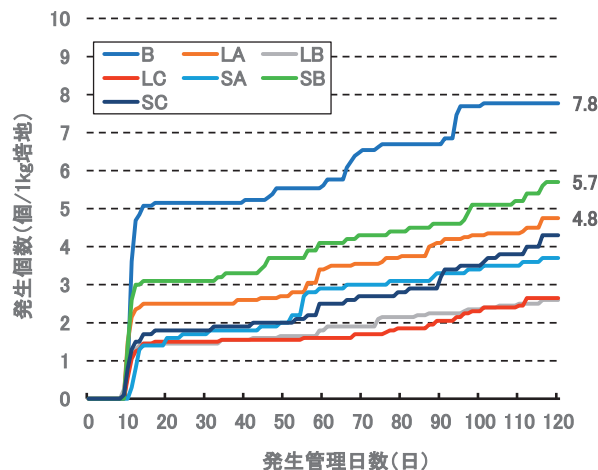


図 1-40 各試験区の累積発生個数（森 XR1 号）

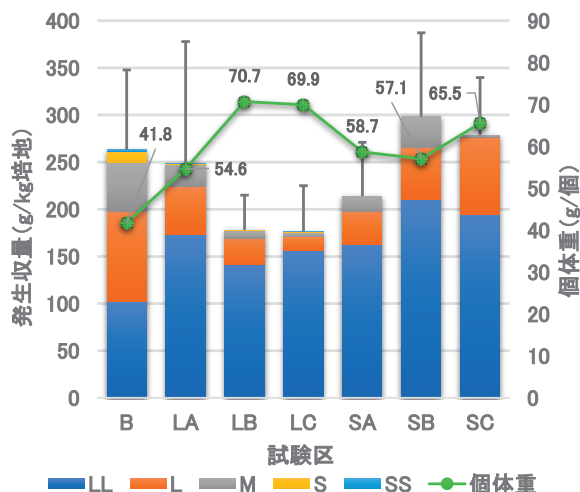


図 1-41 各試験区の発生収量と個体重(森 XR1 号)

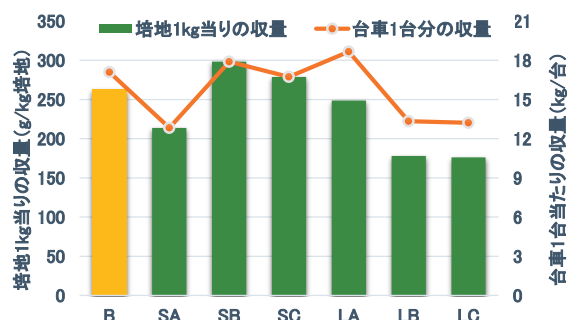


図1-42 栽培単位スペース当りの発生収量の比較（森 XR1 号）

12) 小括

省力化するための新たな栽培方法として、瓶栽培、袋栽培、トレー栽培で条件検討を行った結果、トレーに充填した培地を用いたトレー栽培を選定した。

本法により菌床側面からの発生を抑制し、上面発生を制御するだけでなく、収穫個数減少による省力化に

寄与する可能性を見出した。また、菌床内部への注水および菌床表面への散水処理により、継続的に高品質（大型で肉厚）なシイタケを上面発生させることが可能であり、注水・散水処理条件の検討により、慣行栽培と同程度の発生収量で、品質向上、省力化の可能性を高めた。さらに散水処理を活用したトレー栽培、適

用品種拡大の可能性を見出した。

本法の生産現場での技術移転を想定して、培地を充填する容器の種類を検討し、培地重量を増やし栽培面積当りの生産性を検証し、菌床表面の散水や菌床内部への注水条件の最適化が課題と整理した。今後生産現場への技術移転の際には、培地の形態が変わるために、すでに機械化されている培地充填装置の改良が必要である。

2.3 機械化等のシイタケ収穫省力化のための調査と開発コンセプト検討

背景

シイタケは、菌床ブロックの全面から徐々に発生・成長する子実体から適期を判断し採取する。また、収穫した子実体は大きさや形、傘の開き具合で等級や規格が決まり、既定の重量にパック詰めして出荷される。このように、シイタケ栽培は瓶栽培に比べ機械化・自動化が困難なため多くの人手を要している。収穫作業の省力化のための機械や用具の開発に必要な情報を調査して整理し、ニーズやコストパフォーマンスあるいは普及可能性などを考慮して開発方針を決定する。

1) 省力化すべき収穫関連作業の詳細な情報収集

(1) 目的

北海道内のシイタケ生産現場で人手が多くかる作業や労働負荷が大きな作業を洗い出すとともに、省力化するための用具や機械に対する投資意欲について把握する目的でアンケート調査を実施した。

(2) 試験方法

北海道内の、林産試験場職員と名刺交換をしたことがある、あるいは、インターネット上に住所氏名が明記されているシイタケ生産事業者60者に対し、郵送でアンケートを送付した。

(3) 結果および考察

32者から回答を得た。

人手のかかる作業に関する集計結果を図2-1に示す。ポイントの32%を占めて、最も人手がかかっているのが収穫であった。また、出荷関連についても、計量・パック詰めが24%および選別が6%となっており、人手がかかっていることが明らかとなった。

労働負荷のかかる作業に関する集計結果を図2-2に示す。ここでも収穫の割合が最も高かったが、21%となっており、人手のかかる作業よりは割合が少なくなっていた。他に重量物の持ち運びや上げ下ろしを伴う作業が上位に来ていることがわかった。特に、菌床や資材の運搬が17%、浸水等の発生操作が16%、出荷も製品の詰まったカゴや段ボール箱を

運ぶ作業があり12%であった。

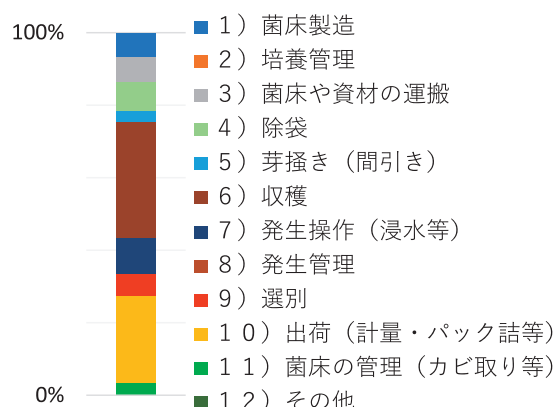


図2-1 人手のかかる作業のアンケート結果

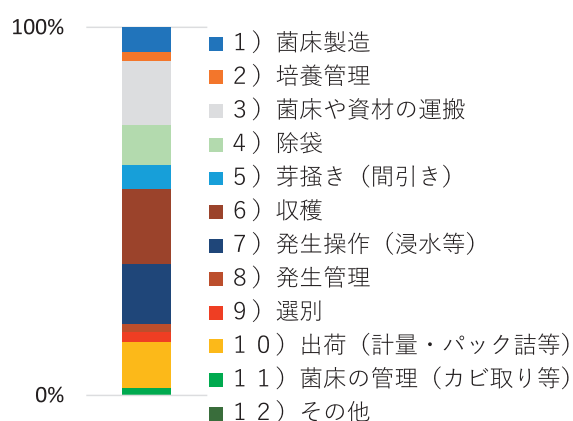


図2-2 労働負荷がかかる作業のアンケート結果

2) 収穫前シイタケの物体認識（矩形）

(1) 目的

シイタケ生産における子実体の収穫作業の一部を機械化することにより生産事業者の負担を大きく軽減することが期待される。最初に収穫機械の要素技術の一つとして、機械の「目」にあたる部分の開発可能性を検討した。多くのシイタケ生産現場では円筒状の菌床から不規則に子実体が発生するため、アルゴリズム化が困難である。シイタケの収穫位置を自動で検出することを目的とし、菌床画像を用いて深層学習（ディープラーニング）による物体検知モデルを活用した画像認識システムの構築に取り組んだ。

(2) 試験方法

複雑な専門知識を要しない深層学習の環境を整えるため、Windows10をオペレーションソフト（以

下、OS) として Python プログラミング環境構築法を調査、試行した。実際のデータセットとして菌床から発生したシイタケの画像と画像内の各シイタケの位置情報が対になったデータセットを独自に構築した。画像は林産試験場や旭川近郊の小規模シイタケ生産事業者Bをはじめとした栽培現場でのシイタケ菌床の写真 124 枚 (画像サイズ 1333 x 800) を用意し、位置情報の割り付け (アノテーション) は専用ソフト (labelme) を使用した。学習モデルの構築には mmdetection(ver. 2. 1. 0) をフレームワーク^(注1)として、学習モデルの一種である RetinaNet を使用し、学習を行った (12 エポック、学習時間 23 分)。

(3) 結果および考察

調査の結果、多くの深層学習のフレームワークは Linux^(注2)により環境構築されていることが判明したが、システムロケール (Windows OS の設定) を UTF-8 に設定し、GitBash^(注3)経由で Anaconda^(注4)を起動することで、Windows10 環境でも Linux 独自のコードを一括して有効化し、既存のフレームワークを使用できることが明らかとなった。

また上述した環境での学習の結果、菌床画像からシイタケ子実体を検出し、バウンディングボックス (矩形マーカー) と信頼度 (該当領域である可能性を 0~1 で示す) で示すことができるようになった (図 2-3)。写真内で手前にあってシイタケ子実体の全体が写っているものについては信頼度が 1 に近い 0.96~0.99 であり、シイタケ子実体を高精度で検出できた。上述の知見から、深層学習が菌床中の収穫すべきシイタケ子実体を補足するツールとして有用である可能性が示された。

注1: フレームワークには「枠組み」や「骨組み」

「構造」といった意味があり、アプリケーションを開発する際、一般的な機能を枠組みとして用意するという考え方。開発者はその枠組みに個別の機能を実装する。「アプリケーションフレームワーク」とも呼ばれる。フレームワークは機能が充実したものから、機能が絞り込まれた軽量のものまで、多種多彩なタイプが提供されている。

注2: Linux…OS の一種。Windows と比較してオープンソースで技術開発が活発である点、動作が比較的軽くクラッシュにくい点などから機械学習ソフトの OS として採用されることが多い。なお、Windows と Linux ではファイルを扱うためのコマンド名や機能が一致しないため、互いのソフトは動作させることができない。

注3: GitBash…Windows のコマンドプロンプトと類似の機能を持つが、Linux のターミナルコマンドを使用してファイルを操作するソフト。

注4: Anaconda…特定のバージョンのライブラリを用いた Python 環境を構築でき、他の環境に影響を与えずにデータ分析や AI 開発を行えるソフト。



図 2-3 菌床シイタケの画像からの学習モデルによる推論結果 (数字は信頼度を示す)

3) 収穫前シイタケの物体認識 (領域)

(1) 目的

物体をマスク (領域) 状に認識可能な学習モデルである Mask R-CNN を用いたシイタケ認識の深層学習を試行する。また、学習に伴う精度パラメータを取得し、好適な学習条件を検討する。

(2) 試験方法

2) で構築した環境と学習用データセットを使用した。深層学習モデルの構築には mmdetection(ver. 2. 6. 0) をフレームワークとして Mask R-CNN を使用し、学習を行った (12 エポック、学習時間 14 分)。加えて、mmdetection の開発元から提供されている学習済みモデルを初期ファイルとして転移学習^(注)を試行した。学習過程における評価の可視化には TensorBoard を使用した。

注: 転移学習とは、すでに学習が完成している既存の AI を用いて、認識対象が異なる別の AI を作成する手法。具体的には、AI の学習モデルを構成するいくつかの層のうち、出力層と呼ばれ

る部分のみを削除した上で学習を行う。例えば、画像内の物体がリンゴかどうか判別できる AI の学習モデルをもとに、みかんを判別する AI へ学習し直すことに相当する。

(3) 結果および考察

学習過程の各段階における損失関数（推論出力と正解との差）と正解率を図 2-4 および図 2-5 に示す。転移学習を行うことによって学習の進行に伴って損失関数がスムーズに減少すること、また 120 エポックまで学習することで検出精度を高められることが判明した。学習で使用しなかった画像に対してシイタケの推論をさせると、12 エポック反復学習時に比べ 120 エポック反復学習したデータではシイタケの輪郭を高い精度で検出し、信頼度も高い値となった（図 2-6）。これにより、収穫時に切断すべき位置（シイタケ子実体の下端）を見積もることが可能になった。

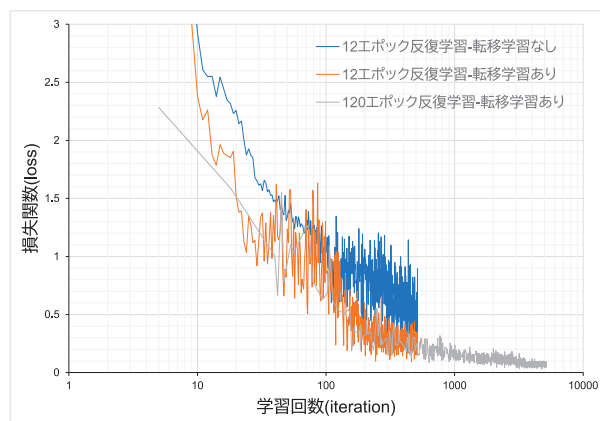


図 2-4 菌床シイタケ認識の機械学習の学習回数に伴う損失関数の変化

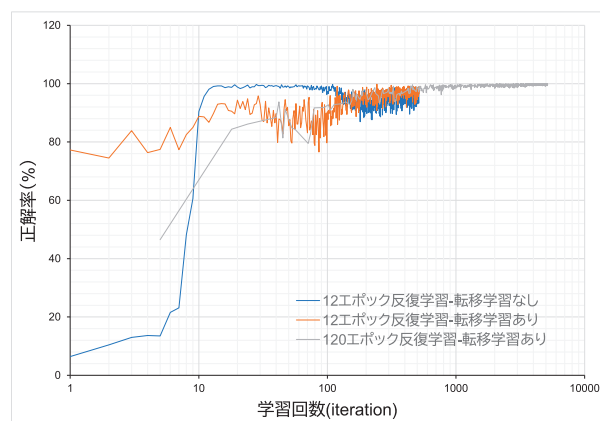
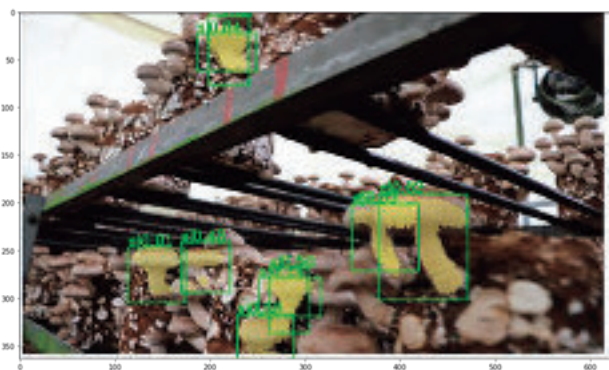


図 2-5 菌床シイタケ認識の機械学習の学習回数に伴う正解率の変化

12エポック反復学習



120エポック反復学習

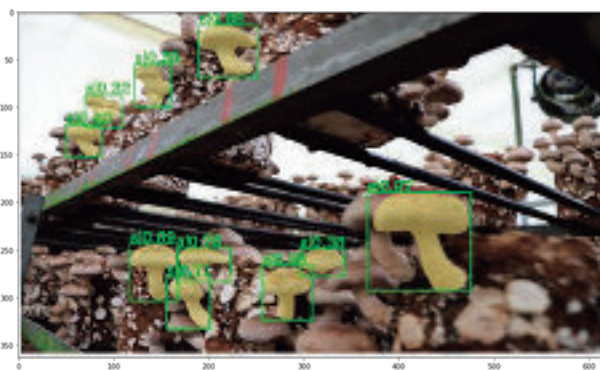


図 2-6 12 エポックまたは 120 エポック反復学習したデータによる菌床シイタケ画像に対する推論結果（黄色マスクおよび緑色矩形）

4) インスタンスセグメンテーション^(注)AI を利用した 収穫点判別技術の検討

(1) 目的

3) で開発したシイタケ菌床から子実体をマスク形式で検知する AI を利用して、収穫対象と同時に、収穫の際に切り離す部分の座標を表示する機能を追加可能か検討した。

(2) 試験方法

深層学習モデルは3)で構築した学習モデル (mmdetection[ver. 2.6.0、OpenMMLab]をフレームワークとしてMask R-CNNにより作成)を使用し、当ソフトの推論結果出力用プログラム (image_demo.py)にコードを追記する形で行った。

(3) 結果および考察

シイタケの子実体は発生面の角度に関わらず垂直に伸長する性質を鑑みて、シイタケ検出マスクの下端のY座標を検出することで、収穫時の切断点を探し出すことができた(図2-7)。既開発の学習モデルと併せてマスク下端のY座標及び対応するX座標を表示させることで、シイタケの切断点も併せて表示できるようになった(図2-8)。

注：インスタンスセグメンテーション（Instance Segmentation）とは、物体検出の個体ごとの位置検出と、セマンティックセグメンテーションのピクセルレベルでの意味検出の両方の特徴を持つ技術。

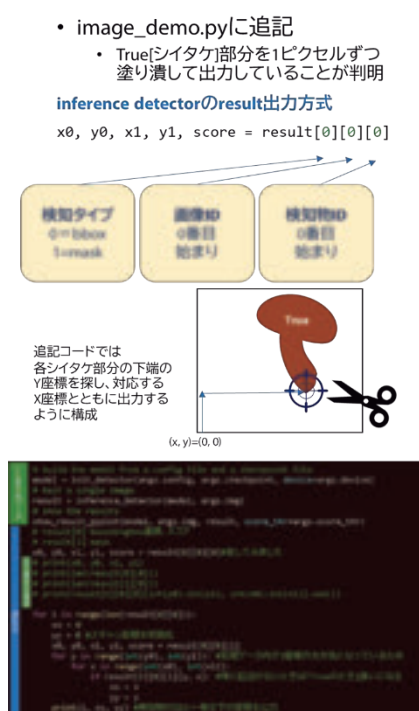


図 2-7 推論プログラムの抜粋と追記コード

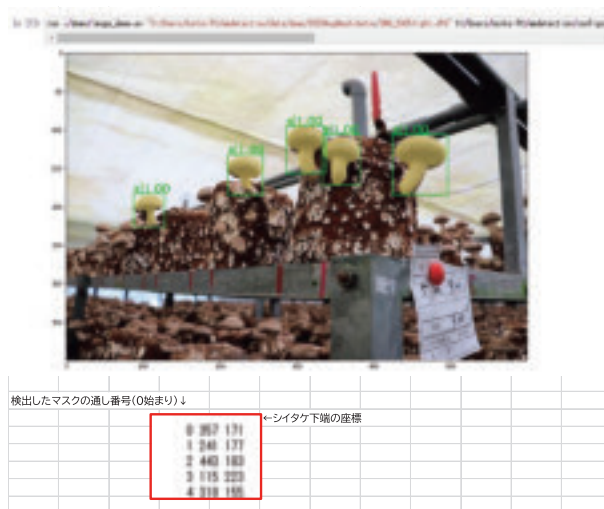


図 2-8 推論結果として出力されたシイタケ子実体
(写真黄色マスク部) とマスク下端座標 (赤枠)

5) 収穫機械開発における3次元カメラ利用の検討

(1) 目的

シイタケ菌床から子実体を収穫するために使用することを想定し、深度測定機能付きカメラを用いて子実体検出の検証を行った。

(2) 試験方法

RealSense™ デプスカメラ (D435、Intel) と付属の SDK^(注)を使用して深度情報付きの画像を取得し、画像解析ソフト (Fiji) を用いて子実体部分の抽出が可能か検討を行った。

(3) 結果および考察

デプスカメラを用いて得られたRGB画像及び深度画像を図2-9に示す。深度画像における、深度情報を反映したRGBに応じてフィルタリングを行うことで、菌床から生える子実体の傘部分と軸部分を分離して検出することができた（図2-10）。

本試験で使用したカメラの現行機が生産中止、およびRealSense 事業が閉鎖予定となり、継続するには使用技術の再検討が必要になる可能性が高い。しかし、入替えの度に SDK^(注)を対応させ直すのは極めて時間と労力がかかるため、継続は困難と判断した。

注：SDK (Software Development Kit) とは、特定のシステムに順応したソフトウェアを開発するために必要なプログラムや文書などがパッケージ化されたもの。開発作業に必要なツールが一式含まれているため、効率的に開発を進めることができる。

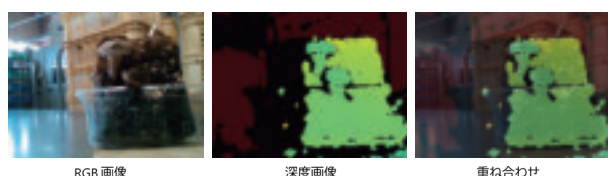


図 2-9 深度カメラで得られた RGB 画像及び深度画像

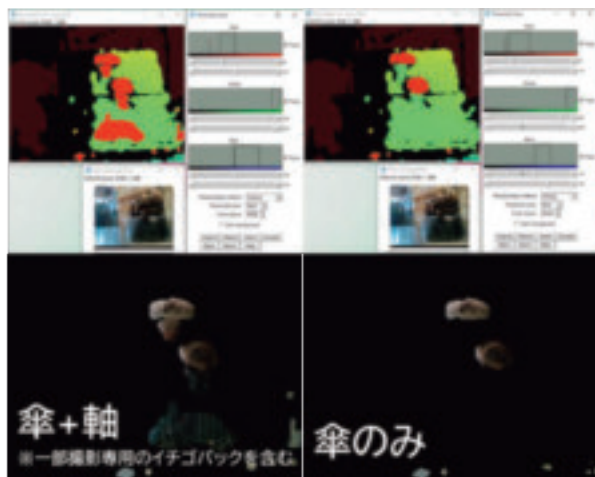


図 2-10 深度カメラで得られた深度画像から部位別で抽出されたシイタケ子実体

6) 選別機械開発のための生産施設調査

(1) 目的

1) より、シイタケ生産の現場では収穫後の出荷作業についても人手がかかっていることが明らかとなった。機械化のための要求仕様と省力化の可能性について検討するため、シイタケ生産現場での選別作業について、生産施設調査を行った。

(2) 試験方法

道内シイタケ生産事業者の施設 3 か所を訪問し、作業スペースや選別作業の処理量や機械導入状況などの聞き取りを行った。また、選別作業施設の照度を照度計 (AR813A、SMART SENSOR) で測定した。

(3) 結果および考察

調査結果の概要を表 2-1 に示す。生産施設の規模により選別処理が必要なシイタケの量や所要人員数に大きな開きがあり、各々の特性を考慮した判別機の仕様検討が必要であることが明らかとなった。

また、大規模事業者 A で聞き取ったシイタケ選別フローと規格について図 2-11 及び表 2-2 に示す。販売先の希望に応じて規格が細分化されており、差し戻しを含めた複雑な選別を行っていること、また発注個数を確保するためにその日のシイタケ収穫量に応じて規格ラインの調整が現場で求められていることが分かった。

表 2-1 道内シイタケ事業者における選別作業に係る調査結果の概要

	大規模事業者 A	中規模事業者 B	小規模事業者 C
作業スペースの広さ	60 cm×1.1 m 網机 2人分×17セット	2m×6m 机 ×10人分	2m×3.2m×3人分
照度	約500 lx	約800 lx	約850 lx
1日の処理量	3500 kg (約23万個)	350 kg (約3万個)	50-150 kg (2-6千個)
人・時間	33-34人×7-9 hr	10人×2 hr	職員2人×1 hr ※利用者はその間バック品に専事
既存マシン	自動計量機+一部バック機	自動計量機+バック機	バック機
購入検討機種	5人工の削減	2人工の削減	利用者2人×2 hr ※収穫作業と同時進行
1日あたり要求判別処理量	約35,000個	約6,000個	約2~6,000個

1日あたり要求判別処理量=1日の処理量×購入検討規模から見積もった要求人工割合



■人力による判別速度
選別済み原料 20kg/h・人 (だいたい1000-1200個/人・hour)
未選別原料 15kg/h・人

図 2-11 大規模事業者 A における選別フロー

表 2-2 大規模事業者 A における規格分け

	A 6-7分間き	B 4-5分間き	C=LS 6-8分間き	良品 9分間き・10分間き	規格外 11分間き・12分間き
傘 7cm以上/約					
5-6分間き	特注規格 (傘+軸) 可能なら試製して受け取り				
傘 5.5分間き					
5-6分間き					
規格 6分間き下					

その日の取れ高と注文に応じて境界を調整

7) 選別機械開発のための収穫後シイタケの等級判別

(1) 目的

自動計量機・パック詰め機は既存装置があることから、シイタケの傘の裏面から等級を判別する画像認識システムの構築に取り組んだ⁶⁾。最初に深層学

習のクラス判別による等級判別の実現可能性について検討した。

(2) 試験方法

学習用データセットとしてシイタケの傘裏面を撮影した画像と各シイタケの等級情報が対になったデータセットを独自に構築した。画像は大規模事業者 A より購入した A 品・B 品・C 品のシイタケを無影状態で撮影した画像 (図 2-12) 172 枚のスケールをトリミング除去したものを使用した。学習モデルの構築には TensorFlow(ver. 2.0-2.2) を使用し、表 2-3 に示す 3 条件で繰り返し学習を行った。

(3) 結果および考察

各条件による学習モデルを用いてテスト画像 12 枚を判定した結果、表 2-3③の条件では正答率が 92%で、最も精度よく判別できることがわかった

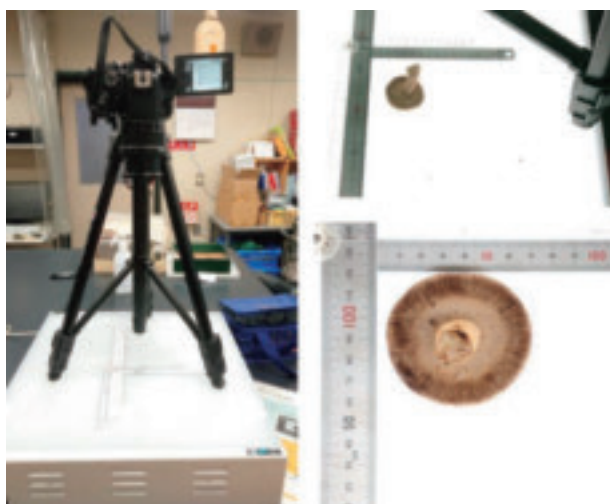


図 2-12 シイタケ等級判別用の無影撮影条件 (左および右上) と撮影したシイタケ画像 (右下)

表 2-3 シイタケ等級判別にて試行した機械学習条件

	条件①	条件②	条件③
画像サイズ	256x256	64x64	64x64
モデルサイズ	399 MB	25 MB	25 MB
学習率(lr値)	1.0×10^{-6}	1.0×10^{-6}	1.0×10^{-3}
バッチサイズ	16	16	2



図 2-13 シイタケ画像の等級判別結果の抜粋 (条件③の学習データによる)

(視認性のためにここではヒタ部を水色塗りつぶし表示)

(図 2-13 および表 2-4)。

表 2-4 条件①～③で得られた学習データでテスト判別した際の混同行列

条件①		予測結果		
		A品	B品	C品
実際の等級	A品	4	0	0
	B品	3	0	1
	C品	2	0	2

条件②		予測結果		
		A品	B品	C品
実際の等級	A品	4	0	0
	B品	3	0	1
	C品	2	0	2

条件③		予測結果		
		A品	B品	C品
実際の等級	A品	4	0	0
	B品	0	3	1
	C品	0	0	4

8) 選別機械開発のための画像分類 AI の開発

(1) 目的

深層学習を活用した高精度な等級判別 AI モデルの開発と、小規模生産施設向け試作機の製作に取り組んだ。

(2) 試験方法

大規模事業者 A より等級別に分けられたシイタケを購入し、7) と同様の方法によりシイタケ子実体を撮影することで教師画像を取得した。fastai をフレームワークとしたクラス判別を使用し学習モデルを構築した。

小規模生産施設向け試作機は、手洗い判定装置「てみえる」の光源を白色 LED へ、内部底面パネルを白色ライト付きパネルへ、内蔵カメラを産業用 USB カメラ (DFK22BUC03, The Imaging Source 社) へ変更して作製した (工業試験場および販売元のフーテックサービス社の許可を得て改造)。

(3) 結果および考察

教師画像を 187 枚および画像を追加して 746 枚使用した際の、等級判別モデルの学習推移と判別精度

(混同行列)を図 2-14 に示す。教師画像を追加することにより、学習効率および判別精度が向上することが確認された。また、教師画像追加後の学習モデルでは生産現場で曖昧に判別されたシイタケが信頼度 (loss 値) の低いサンプルとして抽出されており (図 2-15)、学習モデル作成とデータクリーニングを併用することにより更に判別性能を強化できることが示唆された。

また、作製した小規模生産施設向け試作機は、小規模事業者Cのシイタケ生産施設にて栽培現場におけるシイタケ写真の画像データ取得や等級判別テストが行えることが確認できた (図 2-16)。

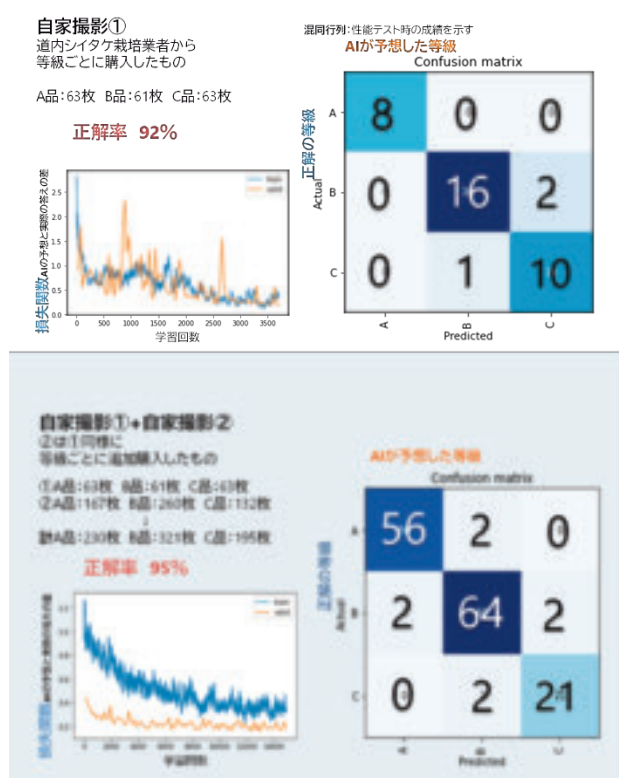
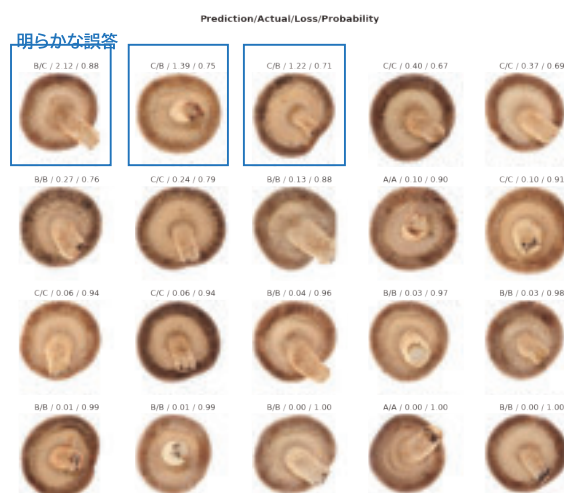


図 2-14 教師画像を追加した際の、等級判別モデルの学習推移と混同行列 (右)

自家撮影①

A品:63枚 B品:61枚 C品:63枚



自家撮影①+自家撮影②

A品:230枚 B品:321枚 C品:195枚

人によるデータ
クリーニングで
改良することが可能



図 2-15 教師画像を追加した際の、低精度だった回答パターンの推移 (loss 値が低いものから 20 件を表示)



図 2-16 小規模生産施設に試験設置したシイタケ等級判別試作機

9) AI による等級判別装置の開発

(1) 目的

小規模事業者を対象とし、生産施設等での使用を見据えて生産現場でシイタケ画像データを取得し等級判別テストを実施し、結果をフィードバックして改良を進めた。

(2) 試験方法

ア. 等級判別 AI の準備：等級判別 AI の開発環境

シイタケの等級判別は、多くの画像からディープラーニングにより得られる学習モデルを作成し行った。学習モデルの開発環境を表 2-5 に示す。

イ. 撮影装置の作製と撮影

学習には数千枚規模の大量の画像を必要とするので、作業の効率化のため図 2-17 のような撮影装置を製作した。装置は、ベルトコンベア上に撮影用の暗箱を設置し、内部にはカメラと LED 照明を設置してある。撮影は、人手によりベルトコンベア上にシイタケを裏返しに載せ、その後は自動で暗箱内の光電センサーによりシイタケを検知し、LED が発光し、カメラのシャッターが切られることで行われる。この装置により 1 時間に最大 1800 枚（1 枚/2 秒）を撮影することができる。撮影は、小規模事業者 C のハウス内にて、収穫された選別前のシイタケを使用し実施した。

ウ. 画像の前処理

得られた画像から、異物が映っていたり、何も映ってなかったり、シイタケの姿勢が不適當だったり等の不適切な画像を取り除いた（データクリーニング）。また、学習の際には画像サイズが 640×640 のサイズに強制的にリサイズされるので予めリサイズの処理を施した。

エ. アノテーションによる教師データの作成

等級判別における画像のアノテーションとは、区分毎に個別に名称が付けられたフォルダに振り分ける作業のことである。本研究では、撮影に協力していただいた生産者の等級区分に合わせてアノテーションを行った。等級区分の内容は、図 2-18 のように M、LS、G の 3 つであった。等級区分の判断は、シイタケ傘裏の膜の裂け具合と形状が円形/非円形の程度により生産者の感覚で行っている。M 品は、円形で膜が裂けていない品質で、LS 品は円形で、ある程度膜が裂けていても良い。G 品は、膜がすっかり裂けていて 8 割以上開き、膜の裂け具合に関係なく非円形のものが相当する。このように、円形/非円形の判断や膜の裂け具合・傘の開き具合を測る数値は無いのが現状であり、どこの等級にアノテーションすべきか迷うことがある。従って、アノテーシ

ョン作業はディープラーニングの教師データを作成する上で暫定的にならざるを得なかった。特に、変形品に関しては膜の裂け具合・傘の開き具合にかかわらず G 品の区分に属するので、円形の M、LS、G に対して非円形品の範疇で新たに 3 区分を設け、合計 6 クラスの区分とした(図 2-18)。

アノテーション作業は画像一枚一枚をコピー＆ペーストするマウス操作を数千枚に渡り繰り返す。改善策として、自動アノテーションアプリを開発した。アプリは、画像を自動表示し、仕分け先のフォルダをテンキーで打ち込むと自動でアノテーション先のフォルダにコピーされるよう作成した。今後、シイタケ以外のアノテーションにも活用できる。

(3) 結果および考察

上記、アノテーション後の教師データを学習した結果、表 2-6 のような混同行列を得た。正解率は 92.1%であった。この結果を、3 クラスの M、LS、G で統合すると表 2-7 のように正解率は 97.9%であり十分実用化が可能な性能を得た。

この学習モデルを撮影装置に組み込むことで等級判別装置とした。本装置は、ビジネス EXP02022 (令和 4 年 11 月 10～11 日、アクセス札幌) へ展示出品した。その様子を図 2-19 に示す。

表 2-5 学習モデルの開発環境

項目	内容	備考
言語	python	Ver.7
フレームワーク	Pytorch	Ver.1.7
ライブラリ	Fastai	Ver.2
ニューラルネットワーク	resnet18	Pre-trained
O S	Windows10Pro	
GPU	RTX2080Ti	



図 2-17 製作した撮影装置の外観

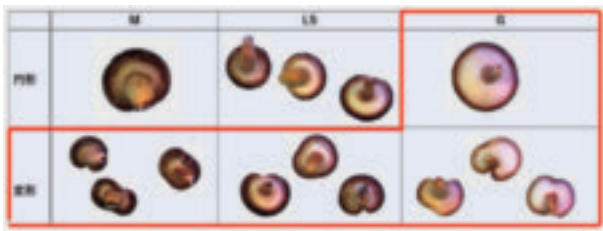


図 2-18 教師データ作成用等級区分

表 2-6 6 クラスでの混同行列

		教師データ						計	recall
		m_all	LS_circle	LS_henkei	LS_ell	LS_henkei	m_henkei		
学習	m_all	218	1	0	0	0	0	218	0.991
	LS_circle	3	107	0	1	0	0	111	0.994
	LS_henkei	0	0	10	4	7	0	21	0.788
	LS_ell	0	4	3	182	4	0	193	0.913
	LS_henkei	0	0	3	5	30	0	38	0.788
計		222	112	13	182	41	24	604	
precision		0.973	0.955	0.841	0.938	0.732	0.778	正解率+	0.913

表 2-7 3 クラスでの混同行列

	M	LS	G	計	recall
M	216	1	1	218	0.9908
LS	3	107	1	111	0.9640
G	3	4	268	275	0.9745
計	222	112	270	604	
precision	0.973	0.955	0.993	正解率+	0.9785



図 2-19 ビジネス EXPO での展示の様子

10) 等級判別装置の開発2

(1) 目的

技術移転を見据えて、OSS ライセンス等知財関連への対応を考慮した技術改良やハードウェア面の開発・改良を進めた。

(2) 試験方法

ア. 研究開発および技術移転における OSS ライセンスの取り扱いに関する検討

AI の研究開発にさまざまなオープンソースソフトウェア (OSS) を使用しているが、商用利用を伴う民間企業等へ研究成果を技術移転する際には各 OSS の利用許諾条件 (OSS ライセンス) への対応が必要である。これまでの研究成果および技術移転について、OSS ライセンスの視点から問題点や対応方法を整理した⁷⁻¹⁰⁾。

イ. OSS ライセンスを考慮した等級判別 AI の検討

小規模事業者 C で取得した写真 (画像) を用い、円形の 3 クラス (M、LS、G) の学習を行った。著作権問題を回避するため、学習時のネットワークモデルは学習済のモデルを使用せず空モデルとし、エポック数は 400 で学習し、混同行列で評価した。さらに、画像を各クラス 400 枚程度追加 (2nd)、画像のトリミング (縦幅に合わせた正方形) および色のデータ拡張 (3rd)、間違った等級へのアノテーションを修正 (4th および再度 5th) することで、教師データの拡張とクリーニングを施した後、学習および評価を行った。

ウ. サイズ測定

インスタンスセグメンテーションにより傘の輪郭からはみ出た柄 (軸) を除去し傘の輪郭のみを抽出した。輪郭のみの画像へ最小外接円を当てはめ、直径を測定した (図 2-20、図 2-21)。

エ. 形状判別の検討: ルールベースと深層学習 (ディープラーニング) による比較検討

円形・変形の判別を、ルールベースのプログラムで検討した (図 2-22)。柄 (軸) を除去した二値化画像 (図 2-23) の特徴を数値化したデータセットを作成し、機械学習ライブラリ pycaret を用いて二値分類 (Binary Classification) のモデルを学習し、推論テストした。また、深層学習 (ディープラーニング) でも円形・変形の判別を検討した (図 2-22)。二値化画像から 4 種の形状 (circle; 412 枚, henkei; 149 枚, ellipse; 318 枚, heart; 174 枚) に目視により分類し、fastai で学習し画像判別を行った (1st)。二値化画像から 2 種の形状 (henkei; 149 枚, heart; 174 枚) に分類し直して fastai で学習後、画像判別を行った (2nd)。二値化画像から circle

以外を全て henkei とした2種類 (circle ; 412 枚、henkei ; 641 枚) に分類して fastai で学習後、画像判別を行った (3rd)。

(3) 結果および考察

ア. 研究開発および技術移転における OSS ライセンスの取り扱いに関する検討

AI 環境構築用ソフト Anaconda (アナコンダ社製) が「有償」となったため、工業試験場の協力を得て Anaconda を使用しない pyenv で環境構築を行った。

また技術移転を見据えて、リアルタイム物体検出ソフト Yolov5 および Yolov8 (Ultralytics 社製、OSS ライセンス : GNU3.0) から Yoloct (OSS ライセンス : MIT) の使用に変更した。

イ. OSS ライセンスを考慮した等級判別 AI の検討

シイタケ画像の中には、子実体の柄が傘の輪郭からはみ出したものが多数ある (図 2-20)。はみ出した柄部分が子実体の形状判別やサイズの計算に支障を来すため、柄を横切るようにアノテーションし、ソフト Yoloct でインスタンスセグメンテーションを行うことで柄を除外することができた。

次に著作権問題を回避するため、画像認識ライブラリ fastai (OSS ライセンス: Apache License 2.0) を用い事前学習されてないネットワークモデルを用いて学習を行った。画像の反転や平行移動による拡張と色のデータ拡張を行った。正解率は 95.6% だった (図 2-24)。計算時間は約 3.5 時間であったが、過学習状態になっている。エポック数 400 まで学習を行ったが、一番良いモデルはエポック数 212 時点であった (図 2-25)。

事前学習でない空モデルでも同等程度の正解率が得られたことから、事前学習時のデータセットの著作権問題を解消できることを確認できた。

ウ. サイズ測定

シイタケの傘をノギスで測定した実測値に対する、形状判別時に得た外接円直径の比率を補正率としたところ、平均補正率 0.927、最大補正率 0.90、最小補正率 0.95 であった (n=6)。誤差範囲は ± 0.027 で、例えば直径 50 mm に対する誤差範囲は ± 1.4 mm となる。十分な精度と考えられるが、供試数を増やし生産事業者での確認が必要である。

エ. 形状判別の検討 1: ルールベースでの機械学習

二値化画像から以下の 11 項目のパラメータを特徴量として、円形/変形を推定するためのデータセットを作成した。

- ①最小包括矩形の短辺と長編の比
- ②最大内接円径と最小外接円計の比
- ③最小二乗円中心に対する半径値のパワースペ

クトルの内、2 角形成分 $\sim$ 10 角形成分

機械学習ライブラリ pycaret を用いて学習した結果、推論テストでの正解率は 91% であった (図 2-26)。

オ. 形状判別の検討 2: 深層学習 (ディープラーニング)

circle と henkei を人手で分けてもらい、2 種類クラスの判別モデルを fastai で学習した正解率は 96% であった (図 2-27、図 2-28)。誤認識の画像は目視で判断が困難な形状であり、許容範囲と考える。カ. 小規模生産者向け等級判別装置

搬送部、判別部・振分け部を一体化し、作業性を向上させた装置を試作、ビジネス EXP02023 (令和 5 年 11 月 9 $\sim$ 10 日、アクセス札幌) へ展示出品した (図 2-29)。

キ. 中規模生産者向け等級判別機

オホーツク総合振興局管内の中規模シイタケ生産事業者 B、メーカーと連携して、生産現場でのシイタケ画像収集を行った。画像収集に先立ちメーカーに対して、シイタケの等級判別に必要な照明条件等ノウハウを情報提供した。得られた画像を共有してもらい林産試験場で学習させた結果は 97% の正解率であり、再アノテーションした結果では 98% に向上した。

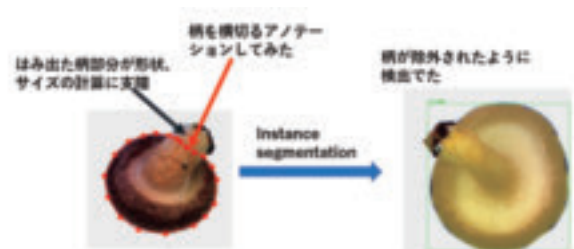


図2-20 インスタンスセグメンテーションを用いたシイタケ柄部分の除外処理

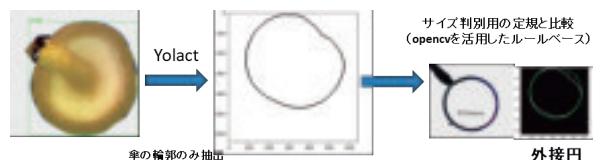


図 2-21 傘の輪郭抽出と傘サイズの測定

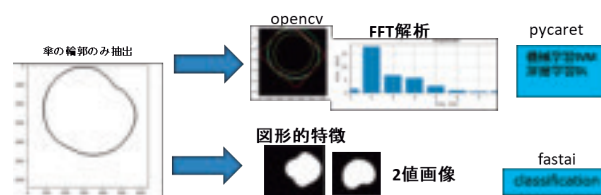


図 2-22 ルールベースによる機械学習と深層学習 (ディープラーニング) による形状判別の流れ

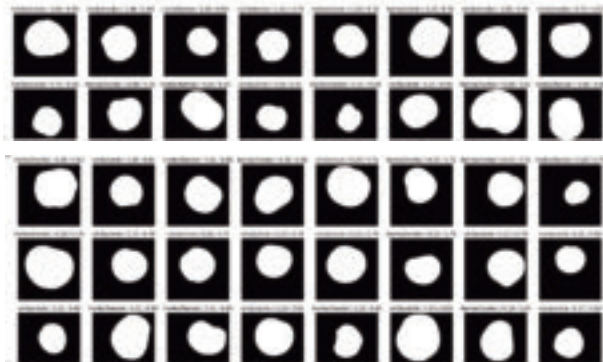


図 2-23 はみ出た柄を削除した後の二値化した画像

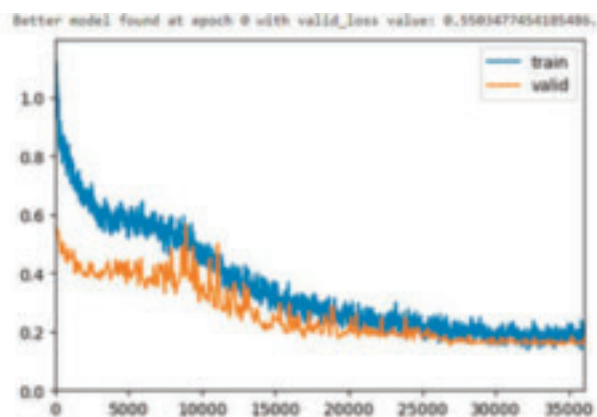


図 2-25 等級判別モデルの学習推移

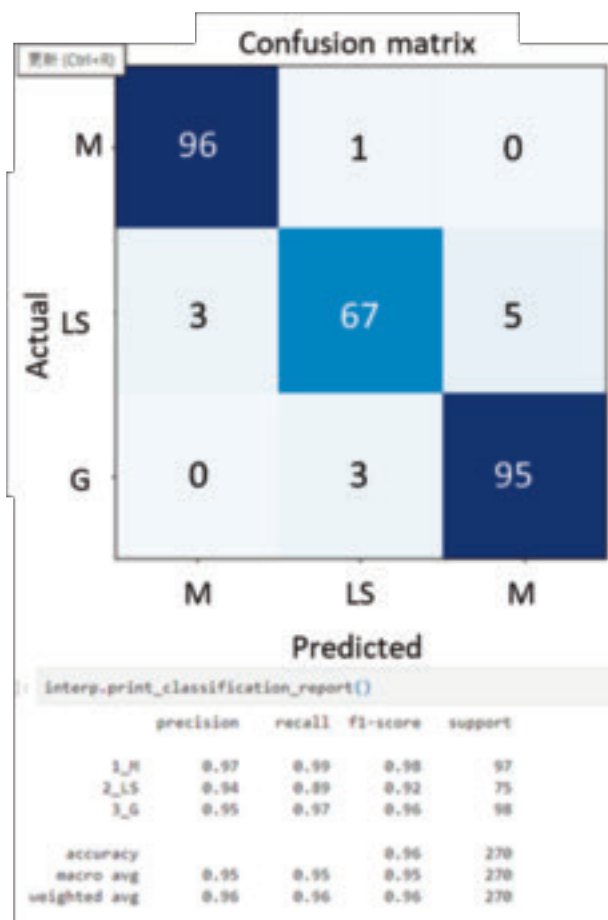


図 2-24 等級判別モデルの混同行列 (3rd) 正解率 95.6%



図 2-26 機械学習による推論モデルの混同行列
クラス名 0: 円形 1: 変形 正解率 91%



図 2-27 形状判別モデルの混同行列 正解率 96%

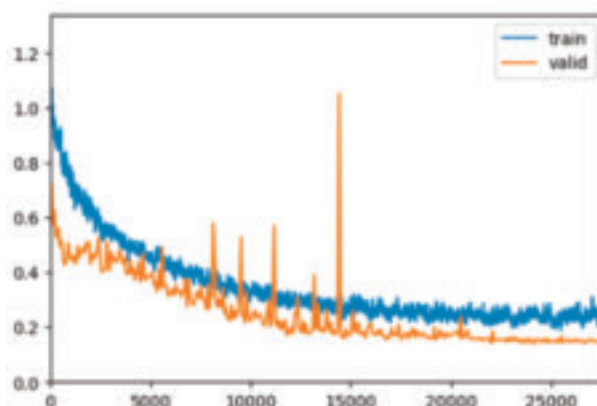


図 2-28 形状判別モデルの学習推移



図 2-29 ビジネス EXP02023 での展示の様子
(上) と結果表示例 (下)

11) 等級判別装置の開発 3

(1) 目的

技術普及に向けて判別技術の汎化性を高めるため、さまざまな生産事業者からの意見を収集した。また、試作装置のデザインやネーミングを検討した。

(2) 試験方法

シイタケ生産事業者を訪問、10) で製作した (第 3 号) 試作機を設置、試運転して意見を収集した。

(3) 結果および考察

菌床シイタケ生産者団体である「北海道テンパック会」の地区別研修会 (2023/12/1、旭川・林産試験場) で、試作機を公開し意見収集した。そのほか、シイタケ生産事業者を個別訪問、試作機を設置、試運転して意見を収集した。

考案したデザインを基に新たに第 4 号試作機を製作した (図 2-30、2-31)。さらに、ネーミングを「AIMUSH (アイマッシュ)」に決定、合わせて複数提案してもらった中からロゴデザインを決定した (図 2-31)。

中規模事業者 D の協力で、D 社の施設内にて「AIMUSH」で画像データを収集し D 社の等級判別基準で学習を行い、道総研フォーラム (2024/9/27、札幌・かでの 27) にて「AIMUSH」を一般公開した。

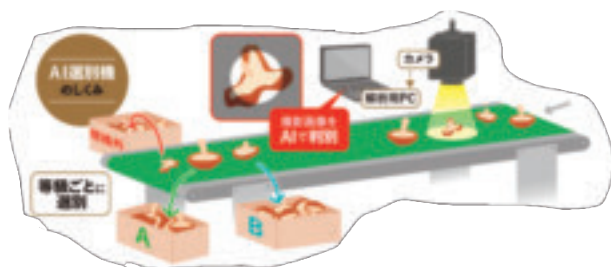


図 2-30 等級判別機の仕組み¹¹⁾



図 2-31 第 4 号試作機「AIMUSH (アイマッシュ)」のイメージ

12) 小括

当初の目標「シイタケ収穫を省力化する用具または機械の開発方針を決定する」に向けて、収穫機械開発に向けた要素技術を検討した。シイタケ菌床とその子実体を対象に、①AI を用いた 2 次元画像認識や、②深度カメラ情報からの 3D 認識技術の開発を行った。しかし、研究に用いた機器の継続使用が困難となり、再構築に要する労力等を検討し、アンケート等で明らかになった現場ニーズが高い等級判別の研究開発に優先着手する方針へ変更した。ニーズが高かった出荷関連の省力化に関する調査により、生産規模別に等級判別の要求仕様をとりまとめた。

AI を活用した等級判別技術の開発を行い、小規模施設向け装置を試作し、搬送部・判別部・振り分け部を一体化した試作機で現場ニーズをフィードバックし改良を進めている。シイタケ生産事業者から「処理速度の改善」や「小サイズの判定追加」の要望があり設定の変更などで対応予定である。そのほかの生産事業者から「変色判別技術」や「判別・仕分け後の組合せ計量」といった要望については、それぞれ大幅な研究内容の追加、あるいは既存特許が多く調査が必要であり保留としている。AI の研究開発にさまざまなオープンソースソフトウェア (OSS) を使用しているが、研究成果を技術移転する際には各 OSS の利用許諾条件 (OSS ライセンス) への対応が必要である。

2.4 総括

シイタケ菌床栽培における芽掻きや収穫の労力を低減させるため、新たな栽培方法を検討しトレイ栽培を選定した。本法では上面発生を制御するだけでなく、収穫個数減少による省力化に寄与する可能性を見出した。新栽培法の効果について中規模シイタケ生産施設 (200 トン/年) をモデルに試算した。発生収量が同量、収穫個数が慣行栽培比 2/3 となる前提で収穫とパック詰め作業に対する試算結果は、生産額 1.3 倍、収

穫効率 (kg/時間) 1.5 倍、収穫時間 0.7 倍、パック詰め時間 0.7 倍となった。すなわち、収穫作業とパック詰め作業のコスト削減効果 33.3%、収益性向上 46.7% となった。

収穫後のシイタケ等級判別は、第 4 号試作装置「AIMUSH」を製作し、社会実装の直前まで進めることが出来た。ユーザーとなる上川管内のシイタケ生産事業者 D 社は導入に前向きで具体的な改善要望を受け「繁忙期のスポット的な未経験労働者向けとして有効」と期待されており、「現状では少人数の熟練者だけで行っている選別作業をサポートできそうである (1,800 個/時間の処理が可能)。また、熟練者を含む選別基準の標準化に寄与することも期待できる。」との意見を頂いている。また、独自に選別装置開発を進めている企業からの実用化のオファーを受けており 1 年以内の技術移転を目指している。

引用文献

- 1) 清水豊, 赤石博: 2 菌床及び施設栽培きのこの最新技術 1) 菌床シイタケ栽培の最新技術 (1) 森産業方式による菌床シイタケ栽培の最新技術, 改訂版最新きのこ栽培技術 ((株) プランツワールド, 千代田区), pp. 138-146 (2014)
- 2) 鮎沢澄夫, 山内隆弘: 2 菌床及び施設栽培きのこの最新技術 1) 菌床シイタケ栽培の最新技術 (2) 北研方式による菌床シイタケ栽培の最新技術, 改訂版最新きのこ栽培技術 ((株) プランツワールド, 千代田区), pp. 147-157 (2014)
- 3) 片桐一弘, 加藤健一, 増野和彦: 既存の栽培施設を活用した菌床シイタケビン栽培技術の開発, 長野県林業総合センター研究報告, 33, pp. 19-33 (2019)
- 4) 馬場隆彦: 2 菌床及び施設栽培きのこの最新技術 1) 菌床シイタケ栽培の最新技術 (3) ジャパンアグリテック方式による完熟樹皮化菌床シイタケ栽培の最新技術, 改訂版最新きのこ栽培技術 ((株) プランツワールド, 千代田区), pp. 158-164 (2014)
- 5) 深山農園株式会社・株式会社北研: しいたけの発生方法, 特許第 7032753 号, 2023 年登録
- 6) 宮田章裕: Python ディープラーニングシステム実装法-Keras による画像・一般データシステムの構築-, (科学情報出版株式会社), pp. 1-396 (2020)
- 7) 板倉陽一郎, 熊谷雄介, 猪谷誠一: 学習用データセットおよび学習済みモデルのライセンスに関する法的問題, 情報法制研究, 11, pp. 110-120 (2022)
https://www.jstage.jst.go.jp/article/alis/11/0/11_110/_article/-char/ja/
- 8) 宮原徹, 姉崎章博: オープンソースの教科書, (シーアンドアール研究所, 新潟県), p. 215 (2021)
- 9) 姉崎章博: OSS ライセンスを正しく理解するための本, (シーアンドアール研究所, 新潟県), p. 166 (2021)
- 10) 上田理, 監修・岩井久美子: OSS ライセンスの教科書, (技術評論社, 東京都), p. 308 (2018)
- 11) HAJ (株) 北海道アルバイト情報社: たべ LABO, 3, p. 23 (2024)