

廃きのご培地の再生による持続可能な循環型農業 システムの構築 —ソフト水熱プロセスによるバイオマスの利活用—

環境省：「平成24-26年度環境研究総合推進費補助金

次世代循環型社会形成推進技術基盤整備事業」

研究課題：「ソフト水熱プロセスによる廃きのご培地再生処理技術の開発」

課題番号：3J123002

代表研究者：宮本 徹

ソフト水熱プロセスのイメージ図

■ソフト水熱プロセスのメカニズム



高温・高圧の水

変化



選択的反応

水と油の
親和性向上

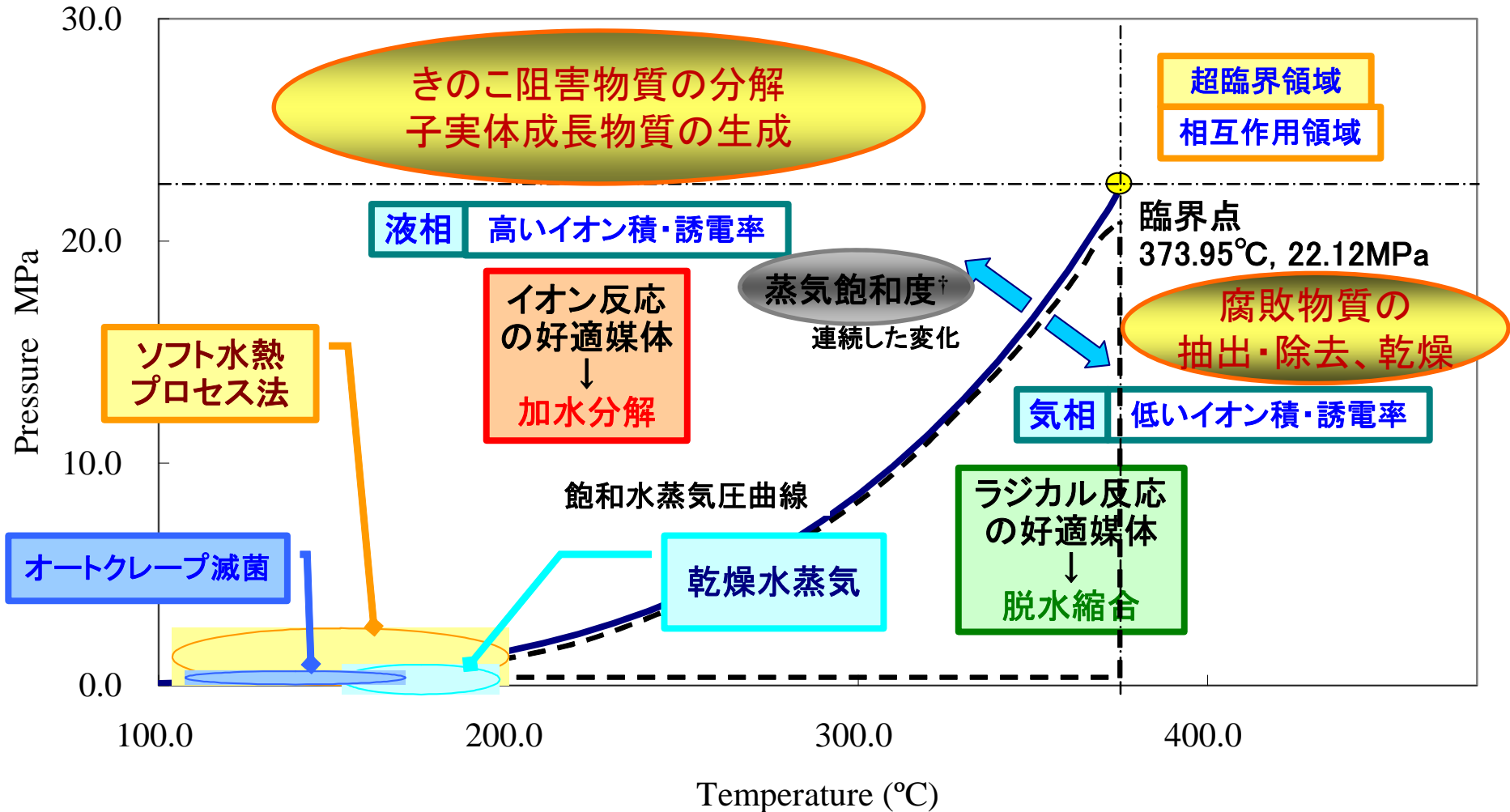
酸(アルカリ)性
触媒

乾燥・脱水
縮合・炭化
作用

ソフト水熱プロセスの反応特性

水蒸気の化学的特性に着目した研究例は数少ない。

水の状態図



Gas-Liquid binary phase diagram of water

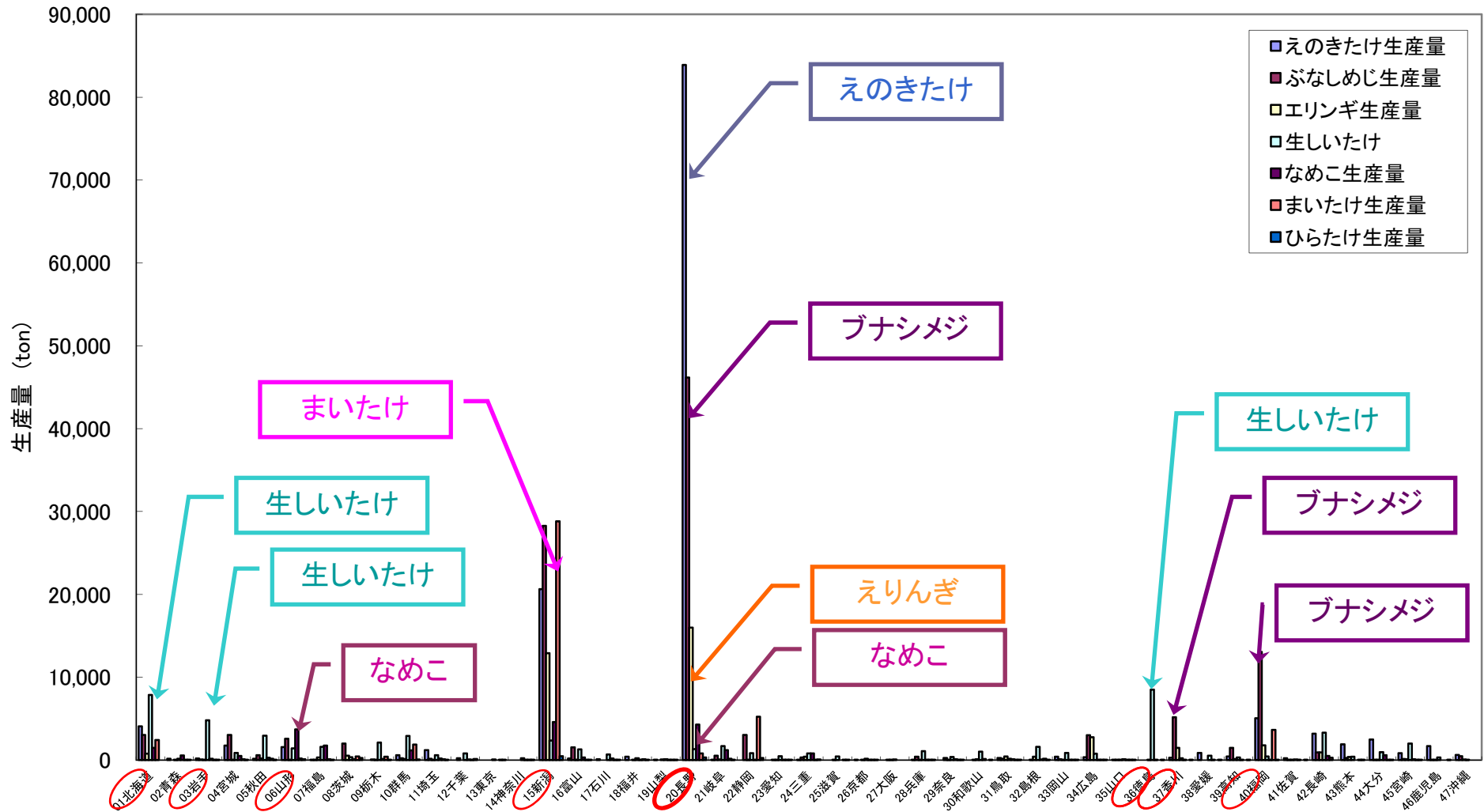
$$^{\dagger} \text{蒸気飽和度}(\%) = \{ \text{蒸気密度 (kg/m}^3\text{)} / \text{飽和水蒸気密度 (kg/m}^3\text{)} \} \times 100$$

1. 研究目的

廃きのこ培地の現状

- きのこの人工(培地菌床)栽培は、消費者の健康趣向とともに、きのこの種類・生産量ともに年々増加の傾向にある。
- きのこを収穫後の培地(廃菌床)は、堆肥にする等の再利用方法が広く知られているが、その方法は、事業者が異なる場合や、必要とする時期の違いがあるなどの問題があり、再利用が進んでいないのが実態である。
- きのこの生産量拡大により現状の再利用だけでは飽和状態となってきた。
- 一方、きのこ経営においては、販売価格の低迷、燃料、資材の高騰により、経営環境の厳しさが増している。
- そのため培地資材コスト低減と、使用済み培地の有効利用を目的に、きのこ培地資材として再利用の取り組み(肥料化、燃料化、飼料、培地として再使用)が、きのこ生産で始まっているが、有効な再利用処理方法を見出していない。
- そこで、我々は、きのこ生産者にメリットのある、廃きのこ培地(廃菌床)をソフト水熱プロセスにより、腐敗有害物質の抽出・除去、滅菌・きのこ生育阻害酵素の不活化、および適宜乾燥させ、きのこ培地として再生する持続可能な「廃棄物「ゼロ」の循環型きのこ栽培システム」の構築を目的とする。

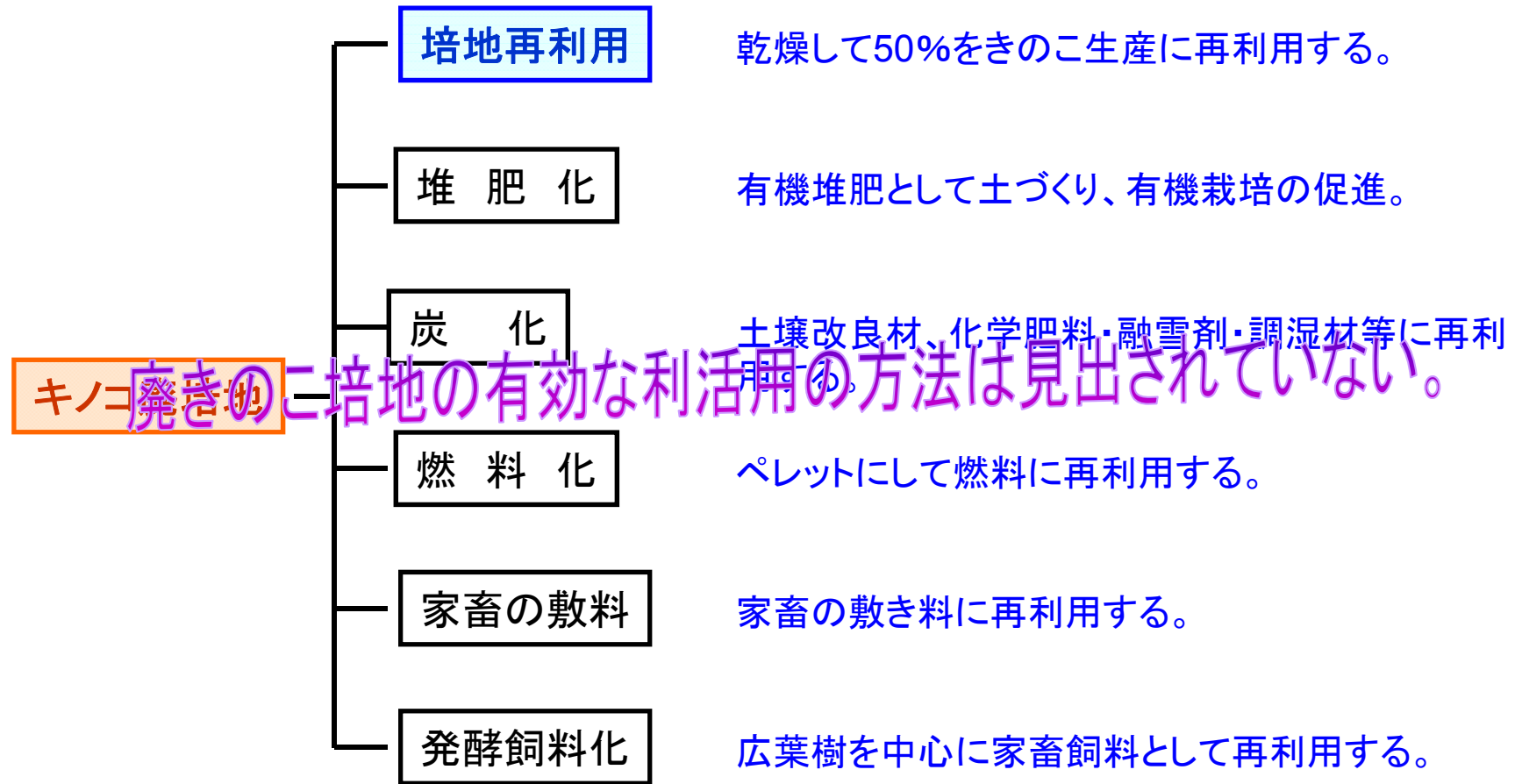
平成25年 全国きのこ生産量(農林水産省農林水産省 特用林産物需給動態調査)



長野県、新潟県が突出して生産量が多いが、全国で隈なく、きのこが相当量生産量されている。そして、廃きのこ培地はきのこ生産量の1.5 - 2倍排出されている。

廃きのこ培地再利用システムの方向性

— 平成24年度長野県キノコ基本計画 —



平成24年度長野県キノコ振興基本方針（抜粋）

長野県キノコ生産の環境面において、キノコ生産に伴う廃培地(使用済み培地)の利用が課題であり、バイオマス資源として燃料化、資源化等の利活用の促進が必要となっている。このため、キノコ農家の経営安定を図るために、地域支援班と圏域支援班の体制を整備し、技術改善、財務改善、労務改善の三位一体の経営改善支援に取り組むほか、低コスト生産技術、省エネ・節電対策、廃培地(使用済み培地)の適正利用と新たな培地による地域資源循環システムの構築、放射性物質に対応した安全な原木・培地原料の使用などの生産管理を進める。

2. ソフト水熱プロセスのプロトタイプ

処理装置：φ1,200×2,900L

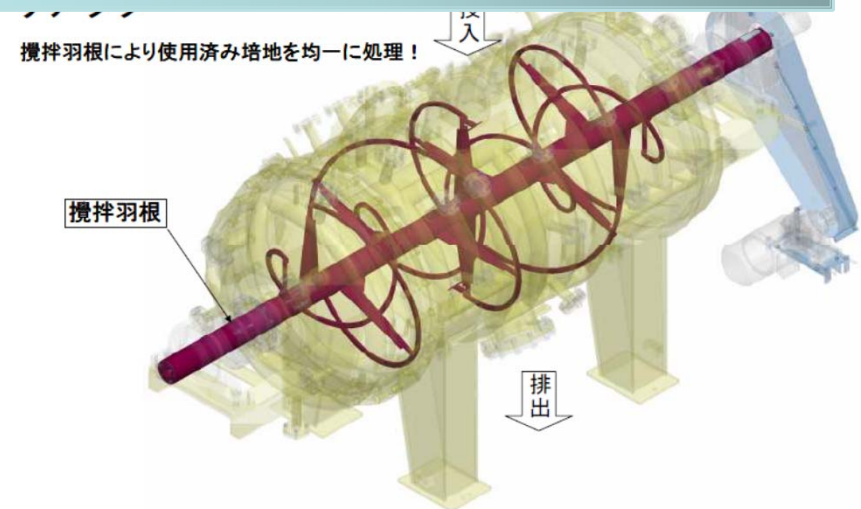
処理能力：500 kg/1batch

全体



ソフト水熱プロセスによる廃きのこ培地再生処理技術を確立するため、機能、性能を満たした装置の実用化およびシステムの構築に向け、次の3項目より検証した。

- 装置の機構的再現性・信頼性・普遍性を立証すること。
- きのこの栽培実証により収穫量・品質を立証すること。
- きのこ培地成分の化学成分分析により再生メカニズムを解明すること。



3. 主要成果

3-(1) 機能、性能を満たした装置—装置の機構的再現性・信頼性・普遍性を立証

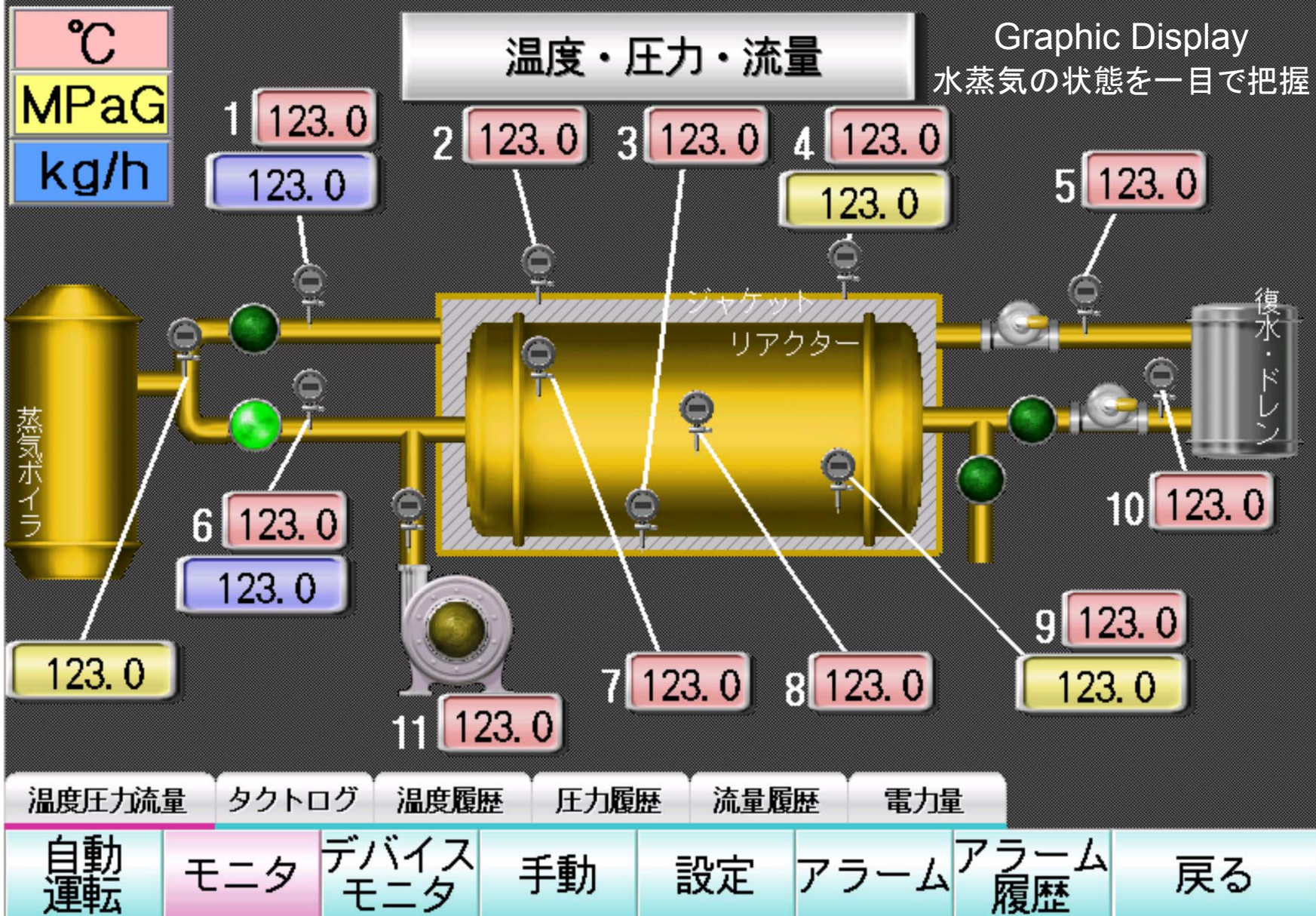
本研究の新規性、独創性は高温高压水蒸気の化学的特性を適用していることにある。小型実証機(10 kg/batch)ではその有効性を立証しているが、本補助金事業の実用規模のプロトタイプにおいても、水蒸気の温度、圧力、および流量を制御し、気相、液相および飽和水蒸気圧曲線上の有効性について実証実験を行ってきた。

具体的には、使用済みきのこ培地再生処理装置の新規性・独自性・創造性は、従来の高温高压水蒸気反応装置(所謂「オートクレーブ」)とは次事項で相違している。

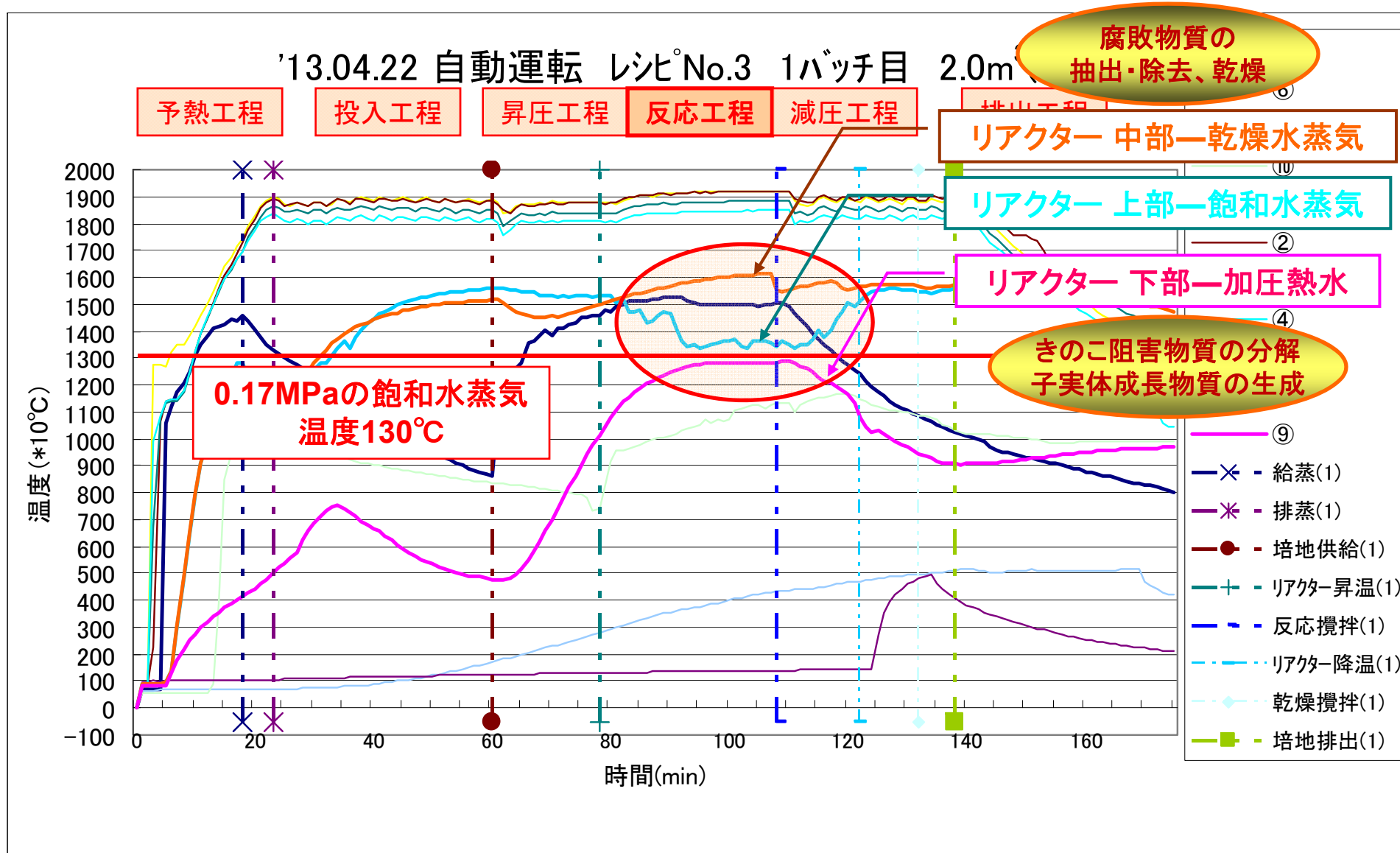
1. ジャケット、およびリアクターの水蒸気をそれぞれ個別に圧力で制御できること。
2. ジャケット、およびリアクターの水蒸気流量をそれぞれ個別に制御できること。
3. ジャケットの圧力・流量をジャケット上流側、およびジャケット下流側でそれぞれ分離して制御できること。
4. リアクターの圧力・流量をリアクター上流側、およびリアクター下流側でそれぞれ分離して制御できること。
5. ジャケット、リアクターの水蒸気を流通式にできること。

本使用済みきのこ培地再生処理装置のメカニズムは、上記の作用でリアクター内の蒸気飽和度^(*)を制御することにより、加圧熱水、飽和水蒸気、さらに乾燥水蒸気を反応媒体として、使用済みきのこ培地から菌子・木質由来の有機物質(腐敗性物質)の抽出を行い、同時に、菌株の生育阻害物質(阻害酵素)を加水分解することにより不活化し、さらに高含水率の使用済みきのこ培地の適宜乾燥を可能とした。(水蒸気最適反応場の選択的創出を可能とした。)

注記: ^(*) 蒸気飽和度(%) = {蒸気密度 (kg/m³) / 飽和水蒸気密度 (kg/m³)} × 100



最適条件の考察(温度挙動)



3-(2) 機能、性能を満たした装置の完成—栽培実証により収穫量・品質を立証

- (1) ブナシメジ使用済み培地再生培地50%代用による小ロット実証栽培
- (2) ブナシメジ使用済み培地再生培地50%、60%、70%代用による小ロット実証栽培
- (3) ブナシメジ使用済み培地再生培地50%代用によるエノキダケ小ロット実証栽培
- (4) ソフト水熱プロセスオガコ改質処理
 - 収穫量、品質、培養日数とも通常-培地の有意差ないこと、使用済み培地では栽培できないことを確認。
 - ネカシの必要性は木質由来の阻害物質の存在
- (5) 第1回、第2回ブナシメジ使用済み培地再生培地50%代用による)一釜単位-16,000本実用規模の実証栽培
- (6) 第3回、第4回ブナシメジ実規模実証栽培
- (7) 新調合ブナシメジ培地の小ロット栽培
- (8) 栄養剤無添加ブナシメジ培地実証栽培
- (9) 第1回エノキダケ培地実規模実証栽培
- (10) 第2回エノキダケ培地実規模実証栽培
- (11) 第5回ブナシメジ実規模実証栽培。
 - 収穫量、品質、培養日数とも通常培地の有意差ないことを確認。
 - 品質良好、収量は5%増収、培養日数過多

ソフト水熱プロセス再生処理培地による栽培実証 (1-1)

ブナシメジ培養状況

2013年4月23日種菌接種 2013年6月14日現在接種後52日



通常培地
control (+)

菌廻り良好



ソフト水熱プロセス再生
培地(50%代用)
実験区

菌廻り良好



廃きのこ培地
Control (-)

菌廻りにムラが出てきている

ソフト水熱プロセス再生処理培地による栽培実証 (1-2)

ブナシメジ培養状況

2013年4月23日種菌接種 2013年7月5日現在接種後70日(菌掻き後10日)



通常培地

子実体原基良好

ソフト水熱プロセス再生
培地(50%代用)

子実体原基良好

廃きのこ培地

子実体原基液体発生

ソフト水熱プロセス再生処理培地による栽培実証 (1-3)

ブナシメジ培養状況

2013年4月23日種菌接種 2013年7月13日現在接種後77日(菌掻き後17日)



通常培地

子実体良好

ソフト水熱プロセス再生
培地(50%代用)

子実体良好

使用済み培地

子実体生育ムラ、不良

ソフト水熱プロセス再生処理培地による栽培実証 (1-4)

ブナシメジ培養状況

2013年4月23日種菌接種 2013年7月26日現在接種後90日(菌搔き後30日)



通常培地、ソフト水熱プロセス再生処理培地は子実体の品質良好
廃培地は子実体の生育不良、品質不良



通常培地

子実体良好

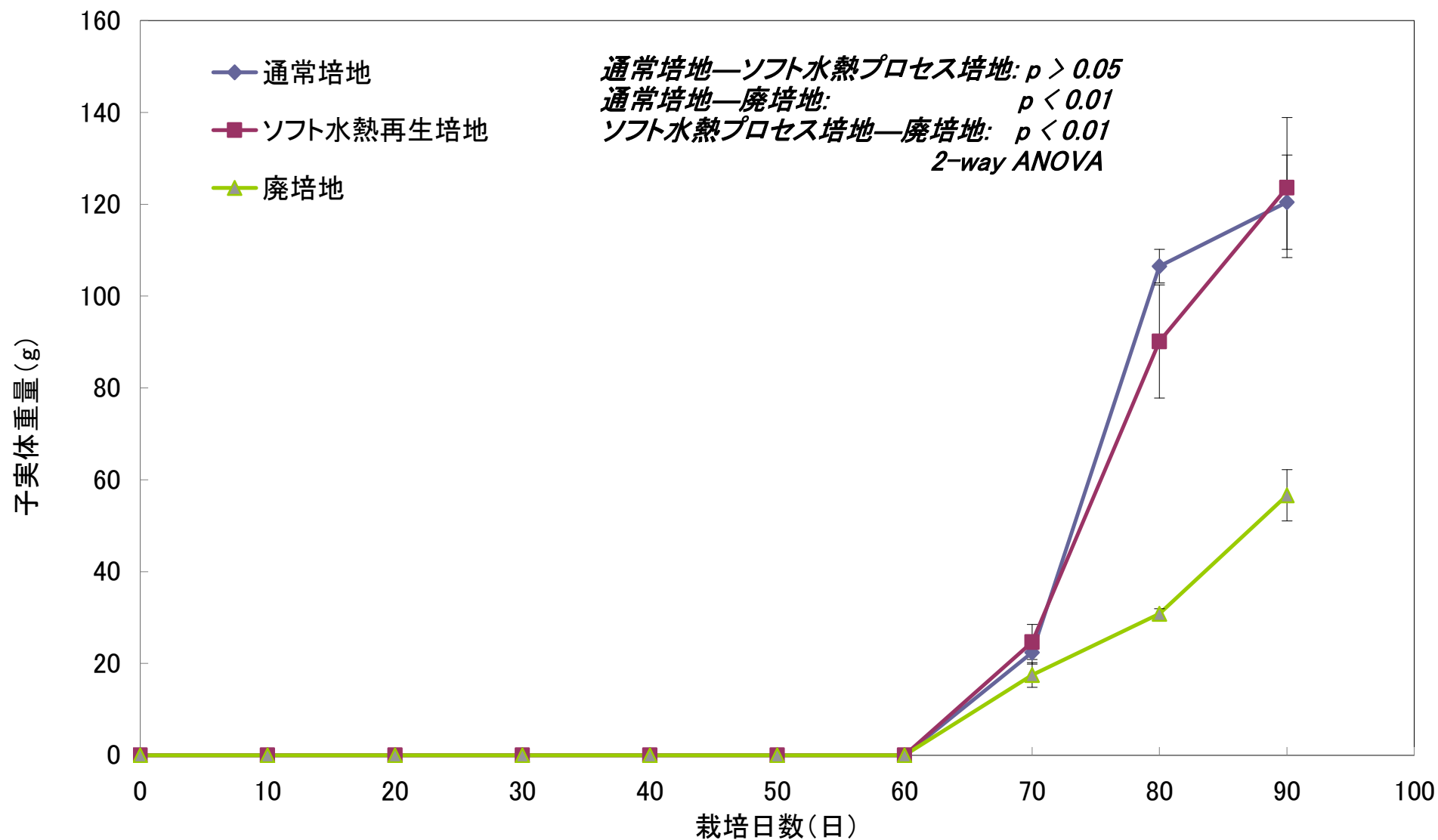
ソフト水熱プロセス再生
培地(50%代用)

子実体良好

廃きのご培地

子実体生育ムラ、不良

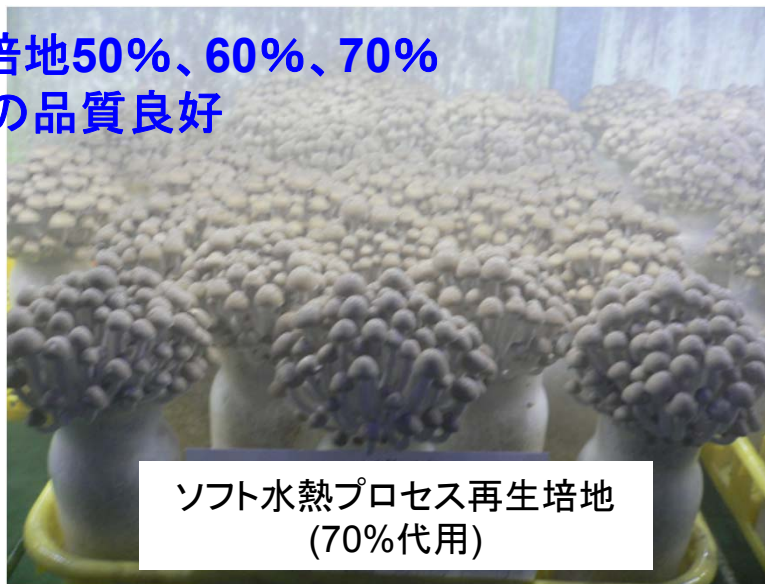
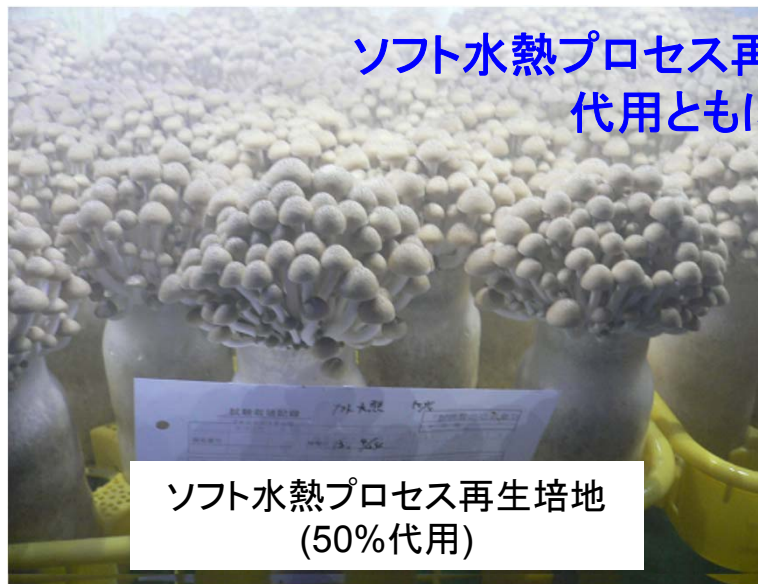
ソフト水熱プロセス再生培地栽培実証



ソフト水熱プロセス再生処理培地による栽培実証 (2)

ブナシメジ栽培状況

2013年4月23日種菌接種 2013年7月16日現在接種後81日(菌掻き後21日)

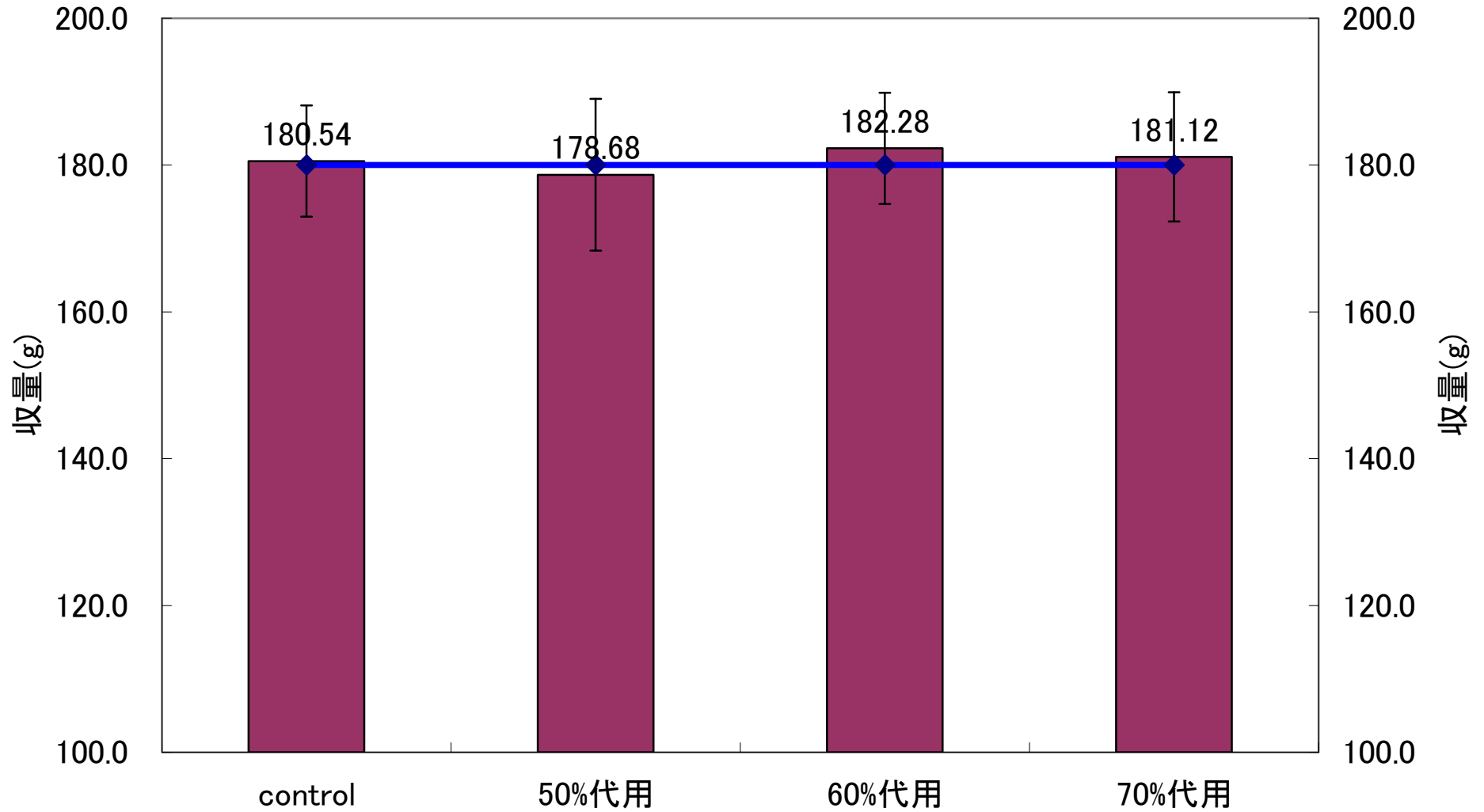


ソフト水熱プロセス再生処理培地50%、60%、70%
代用ともに子実体の品質良好

ソフト水熱プロセス再生処理培地

$p > 0.05$

Student's t-test



ソフト水熱プロセス再生処理培地50%、60%、70%
代用ともに子実体収穫量通常培地と有意差無し

ソフト水熱プロセス再生処理培地による栽培実証 (3)

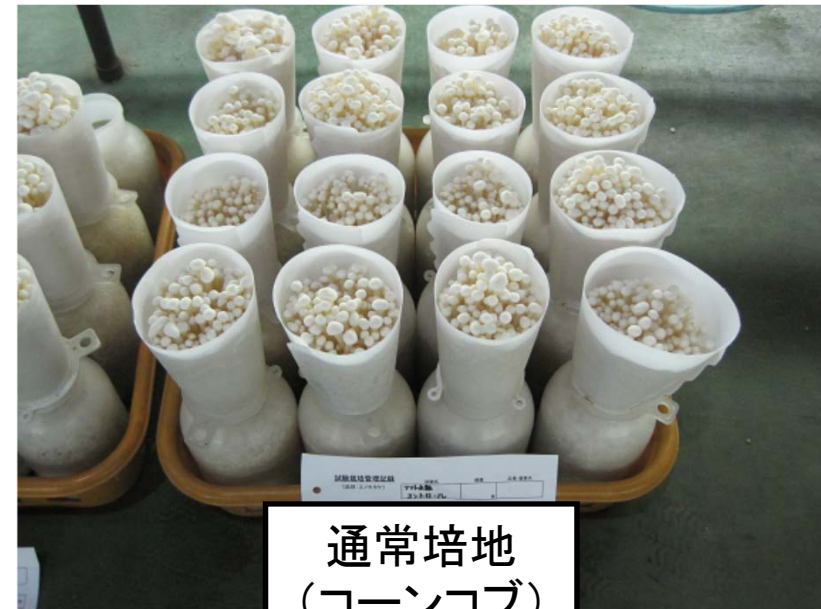
エノキタケ培養状況2013年5月16日種菌接種
2013年7月11日収穫(接種後55日)



ソフト水熱プロセス再生
培地(50%代用)

通常培地
(コーンコブ)

通常培地では各瓶で生育が不均一であるが、「ブナシメジ使用済み培地のソフト水熱プロセス再生処理培地」では各瓶共に生育がほぼ均一でいずれも良好に成長している。すなわち、通常培地中の生育阻害物質を排除して培地としての品質を向上させるだけでなく、さらに培地の均質性も向上させる。



通常培地
(コーンコブ)



ソフト水熱プロセス再
生培地(50%代用)

ソフト水熱プロセス再生処理培地による栽培実証 (3)

ブナシメジソフト水熱オガコ50%・コーン50%
代替試験 - 実用規模:16,000本/1釜-第1、2回

菌系	ON-2G
水分	67.7%
pH	5.7
培養日数	60日
接種日	2013年7月6日
菌掻き日	2013年9月4日
収穫日	2013年9月25日・26日



シンシア試験栽培

収量	ソフト水熱	コントロール
生育22日目	196.8	203.7
生育23日目	187.7 94.9%	201.7
平均	192.3	202.7

JA中野市種菌センター試験栽培

収量	ソフト水熱	コントロール
生育23日目	199.9	195.1
生育24日目	204.1 100.1%	204.3
平均	202.0	199.7



ソフト水熱プロセス再生処理培地による栽培実証 (4-2)

ブナシメジソフト水熱オガコ50%・コーン50%代替試験 -実用規模:16,000本/1釜-第3,4回

	ソフト水熱	対照
培養日数	70日	67日
発生日数	23' 88.2%	2~23
収量	179.1	203.1
STDEV	16.5	17.8
201g以上	8.7%	55.5%
181~200g	32.2%	36.2%
151~180g	53.9%	7.1%
150g以下	2.2%	0.4%



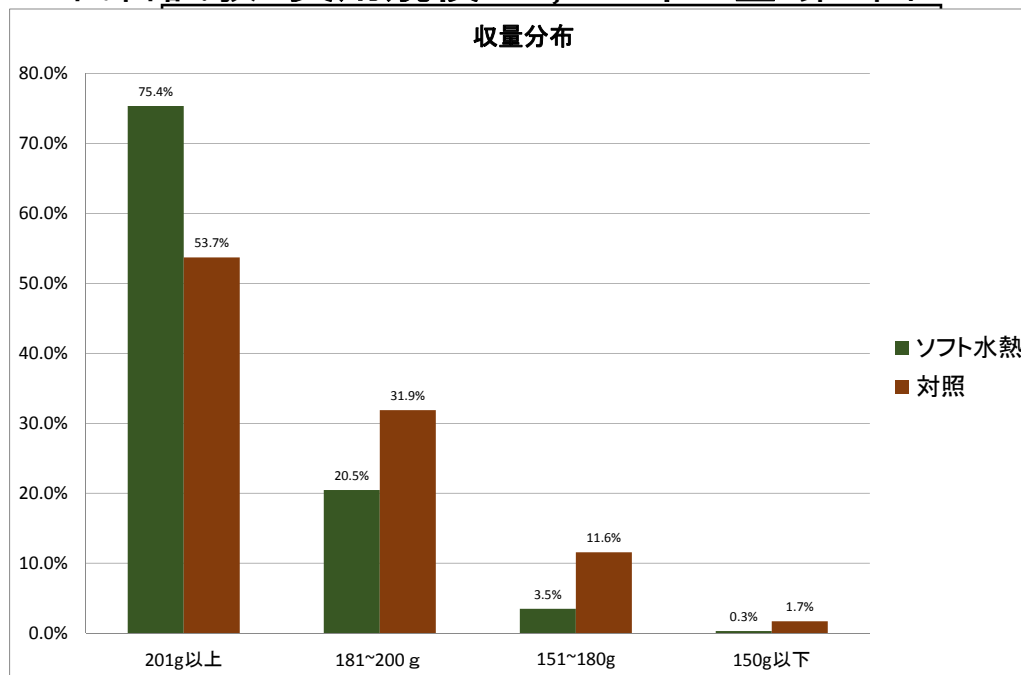
	ソフト水熱	対照
培養日数	70日	67日
発生日数	24' 91.4%	23~
収量	203.4	222.6
STDEV	17.5	19.4
201g以上	58.2%	88.5%
181~200g	34.7%	9.5%
151~180g	5.6%	1.5%
150g以下	0.8%	0.3%



ソフト水熱プロセス再生処理培地による栽培実証 (4-3)

ブナシメジソフト水熱新調合SS培地50%代替試験 - 実用規模:16,000本/1釜- 第5回

	ソフト水熱	対照
培養日数	74日	56日
菌搔日	10月10日	10月10日
収穫日	10月31日	10月31日
発生日数	22~105.2%	22~
収量	211.3	200.9
STDEV	17.7	20.3
収穫株数	15254.0	24652.0
201g以上	75.4%	53.8%
181~200g	20.4%	31.8%
151~180g	3.5%	11.5%
150g以下	0.3%	1.7%



種菌C生育試験結果

	ソフト水熱	対照
培養日数	74日	56日
菌搔日	10月10日	10月10日
収穫日	10月31日	10月31日
発生日数	23~105.8%	23~
収量	227.6	215.1
STDEV	10.0	11.0



ソフト水熱プロセス再生処理培地による栽培実証 (4)

収穫ラインデータ(エノキタケ)					同日収穫				
ソフト水熱培地									
	総数	計量数	A品率	収量(g)		総数	計量数	A品率	収量(g)
2014年8月7日	11,477	2,499	78.20%	208.8		472	69	85.4%	209.2
					2014年8月7日	25,268	4,265	83.1%	211.3
						7,291	403	94.5%	215.7
							平均	87.7%	212.1
	総数	計量数	A品率	収量(g)		総数	計量数	A品率	収量(g)
2014年8月8日	4,726	82	98.30%	224.1		17,478	3,609	79.4%	210
					2014年8月7日	40,567	6,468	84.1%	211.3
							平均	81.8%	210.6
研究収穫分(2コンテナ)					対照				
ソフト水熱培地									
	総数	計量数	A品率	収量(g)		総数	計量数	A品率	収量(g)
2014年8月6日	18	0	100.00%	213.5	2014年8月6日	0	0	-	-
2014年8月7日	18	0	100.00%	220.9	2014年8月7日	0	0	-	-
2014年8月8日	12	0	100.00%	222.4	2014年8月8日	2	0	100.00%	209.5
2014年8月9日	1	0	100.00%	248.0	2014年8月9日	21	0	100.00%	216.0
2014年8月10日	0	0	-	-	2014年8月10日	19	0	100.00%	223.2
2014年8月11日	0	0	-	-	2014年8月11日	5	0	100.00%	217.4
			平均	226.2				平均	216.5

3-(3) 機能、性能を満たした装置の完成 — 再生メカニズムの解明

- (1)木質由来、あるいは栄養添加物由来の生育阻害物質の検証(長野工業技術総合センター 材料技術部門(GC/MS)、食品技術部門(HPLC))を行った。
- (2)生物由来の生育阻害物質の検証(近畿大学農学部応用生命化学科)による分析結果の精査考察
- (3)通常培地、廃培地、再生培地の化学成分分析により**世界で初めてブナシメジ、エノキタケの再生メカニズムを明らかにした。**(海洋研究開発機構と共同研究)
— きのこと生育阻害のメカニズムの解明と、きのこと栽培における事前不良検出手法を示唆。

第1候補群: きのこと栽培で増加した物質(老廃物、代謝物等の有機物)であって、ソフト水熱処理で除去可能な物質

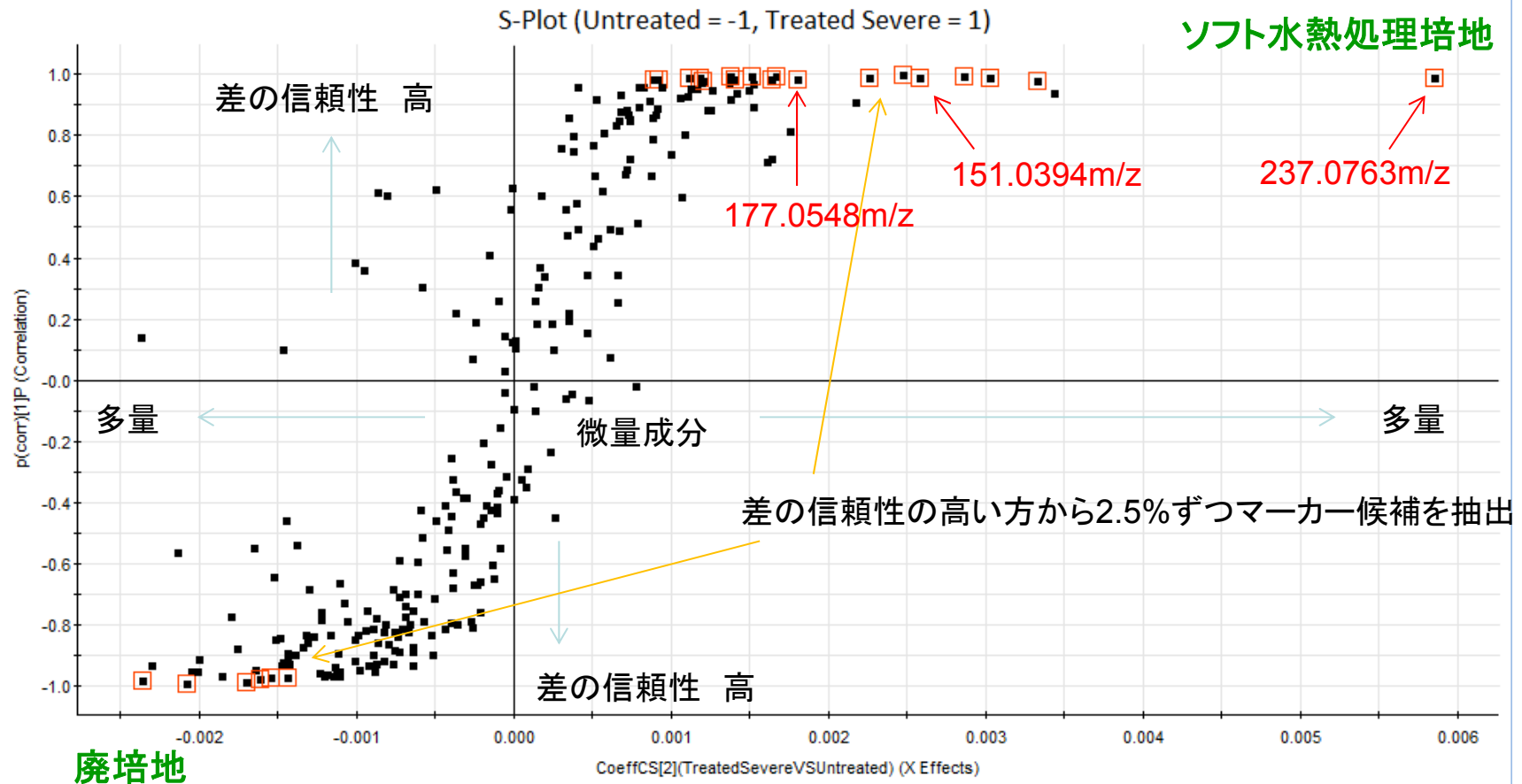
第2候補群: きのこと栽培で消費された物質(リグニン由来の生育促進物質等)であって、ソフト水熱処理で再生可能な物質

第3候補群: きのこと栽培で消費された物質(添加物由来の生育促進物質等)であって、ソフト水熱処理で部分的に再生可能な物質

第4候補群: きのこと栽培で消費された物質(添加物由来の栄養素等)であって、ソフト水熱処理で変化しない物質

第5候補群: きのこと栽培で増加した物質(きこのこの生育に関与しない有機物)であって、ソフト水熱処理で変化しない、あるいは、更に増加する物質

S-plot両端のピークを解析 (Negative mode) 再生培地(ソフト水熱プロセス)と廃培地の比較



※ 信頼性の高い方から2.5%のピークをマーカー候補として抽出した。

Fig. 1-1, The S-plot visualization of the difference between the samples [un-inoculated (new) media, used (waste) media, and soft-hydrothermal processed media of the edible mushroom]. The MS peaks with high correlation ($p > |0.975|$) were selected as unique components featuring the each sample and depicted in square boxes.

S-plot両端のピークを解析 (Negative mode) 未接種培地と廃培地の比較

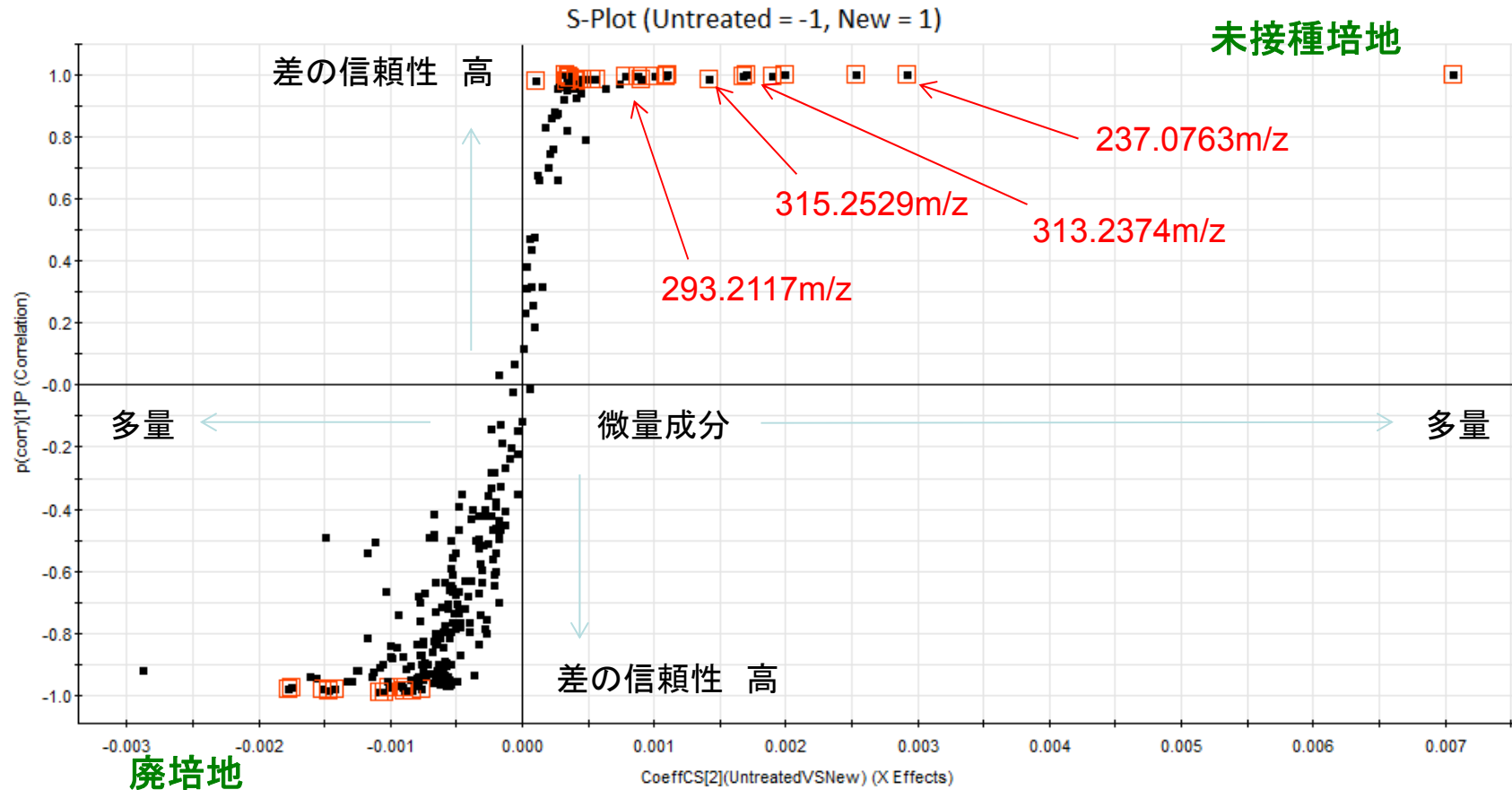


Fig. 1-2, The S-plot visualization of the difference between the samples [un-inoculated (new) media, used (waste) media, and soft-hydrothermal processed media of the edible mushroom]. The MS peaks with high correlation ($p > |0.975|$) were selected as unique components featuring the each sample and depicted in squire boxes.

S-plot両端のピークを解析 (Negative mode) 再生培地 (ソフト水熱プロセス) と未接種培地の比較

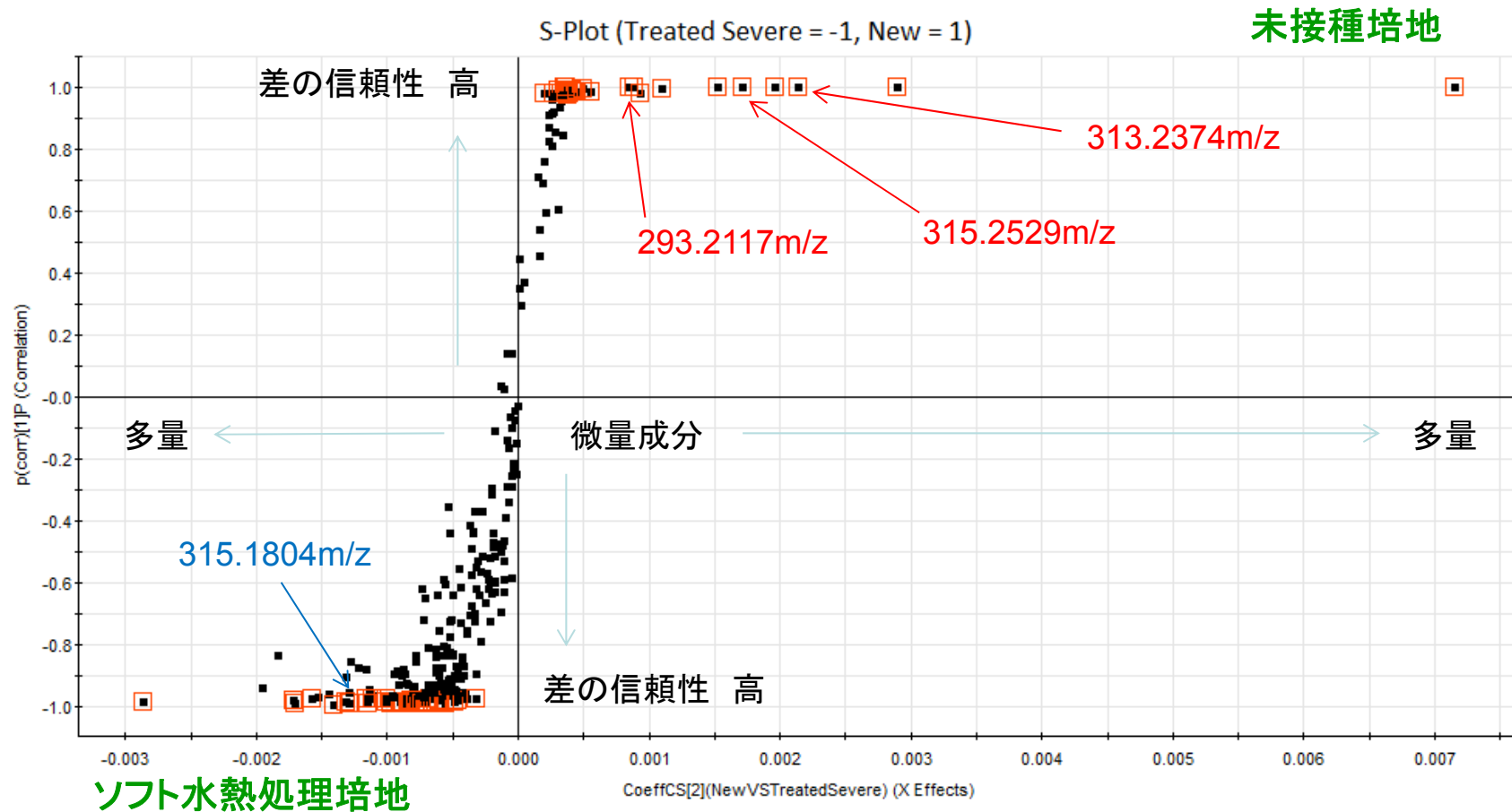


Fig. 1-3, The S-plot visualization of the difference between the samples [un-inoculated (new) media, used (waste) media, and soft-hydrothermal processed media of the edible mushroom]. The MS peaks with high correlation ($p > |0.975|$) were selected as unique components featuring the each sample and depicted in square boxes.

主成分分析とクラスター解析に基づき3グループに分けて比較(Negative mode)

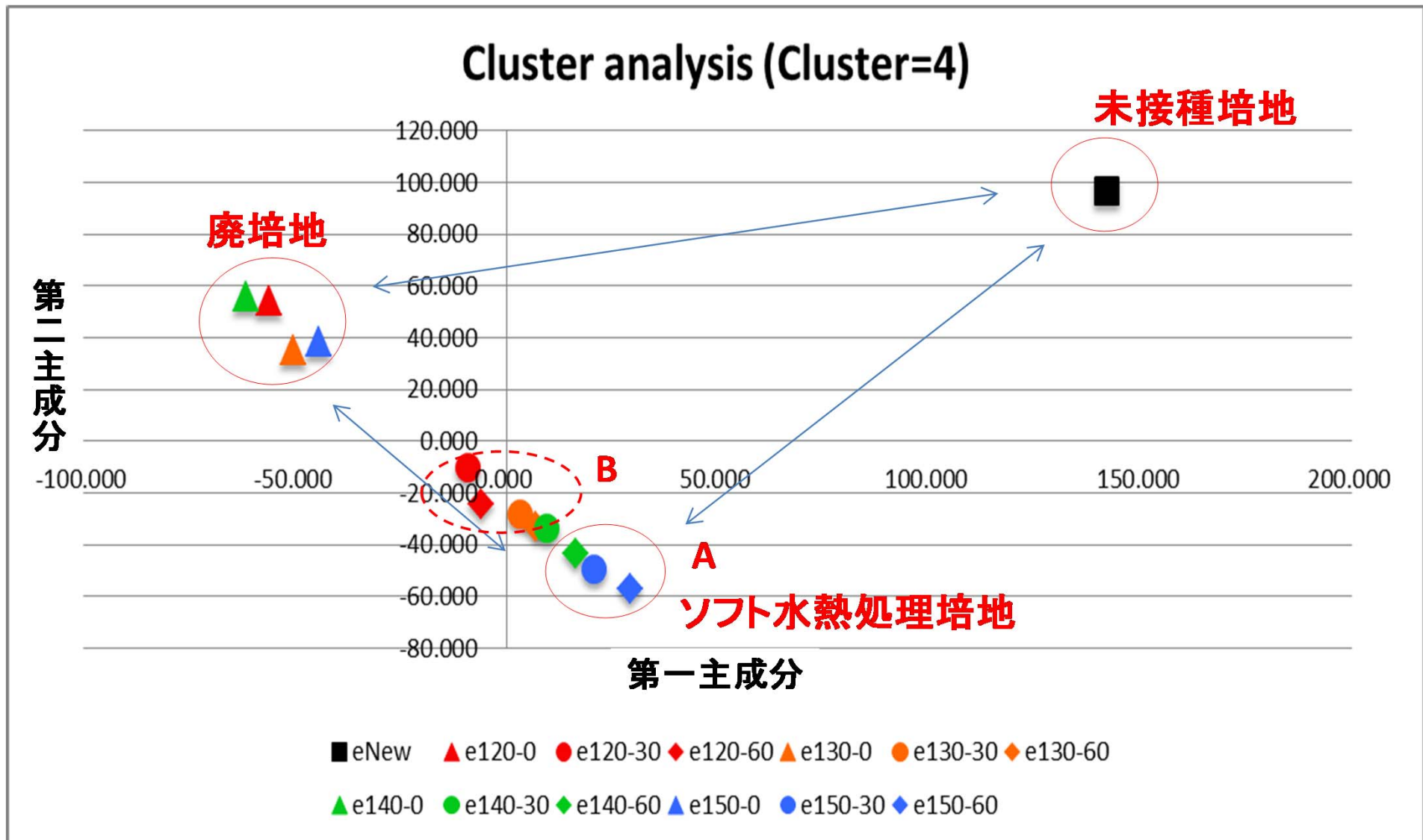


Fig. 2, Principal component and cluster analyses of the LCMS data for visualization of the differences of the components in un-inoculated (new), used (waste) and soft-hydrothermal processed media of the edible mushroom.

第1候補群

281.1385m/zのピーク面積グラフ
(ソフト水熱プロセスにより減少)(Negative mode)

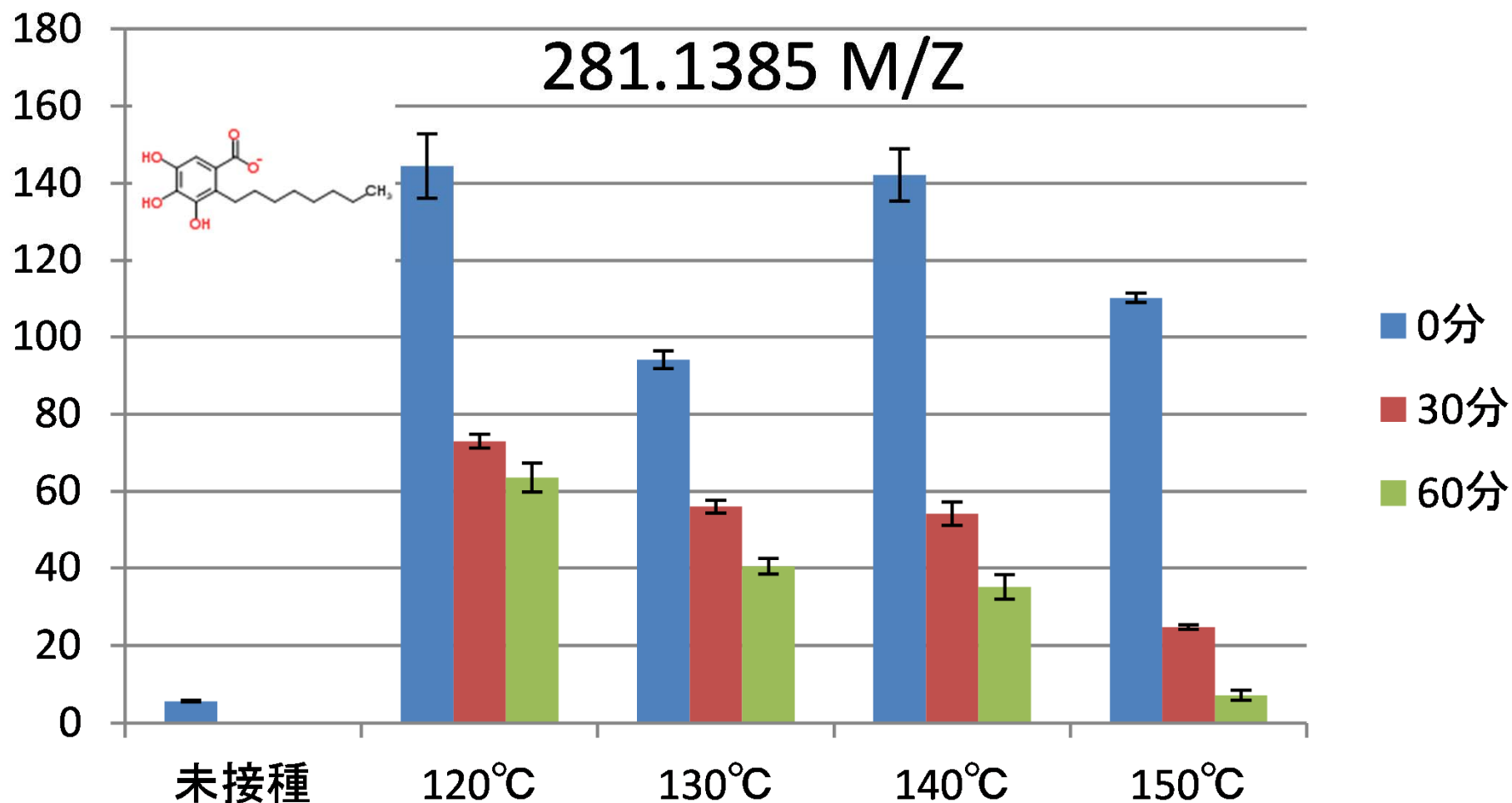


Fig. 3, The change of the amounts of the molecules contributing the difference from other groups and depending on growth of the mushroom but could be decreased by the soft-hydrothermal processing. The possible structures are in the insets.

第2, 3候補群

151.0394m/z (vanillin) のピーク面積グラフ
(ソフト水熱処理により増加) (Negative mode)

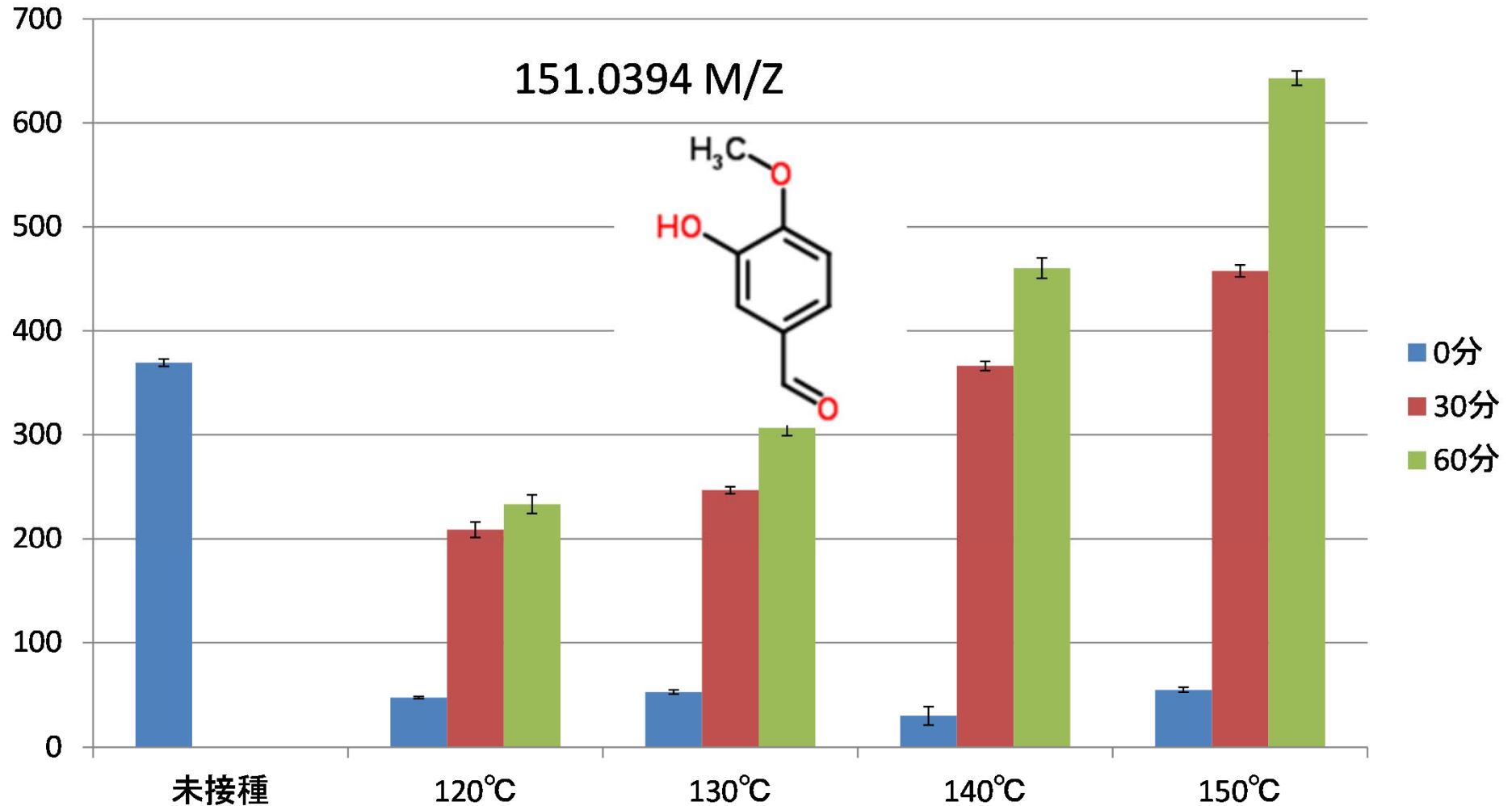


Fig. 4, The change of the amounts of the molecules contributing the difference from other groups and depending on the growth of the mushroom and the soft-hydrothermal processing. The possible structures are in the insets.

第4候補群

315.2529m/zのピーク面積グラフ
(キノコ栽培により減少)

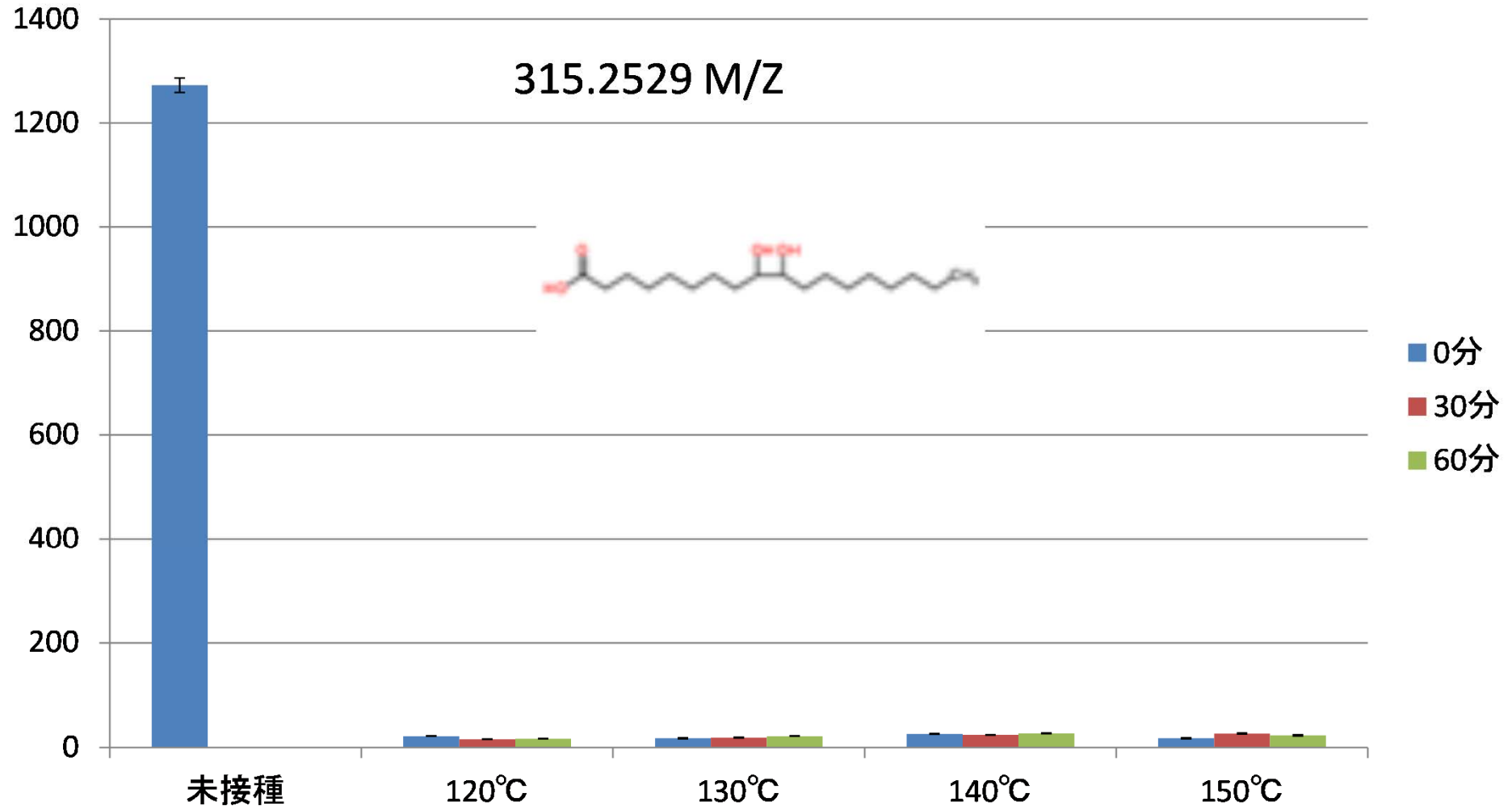
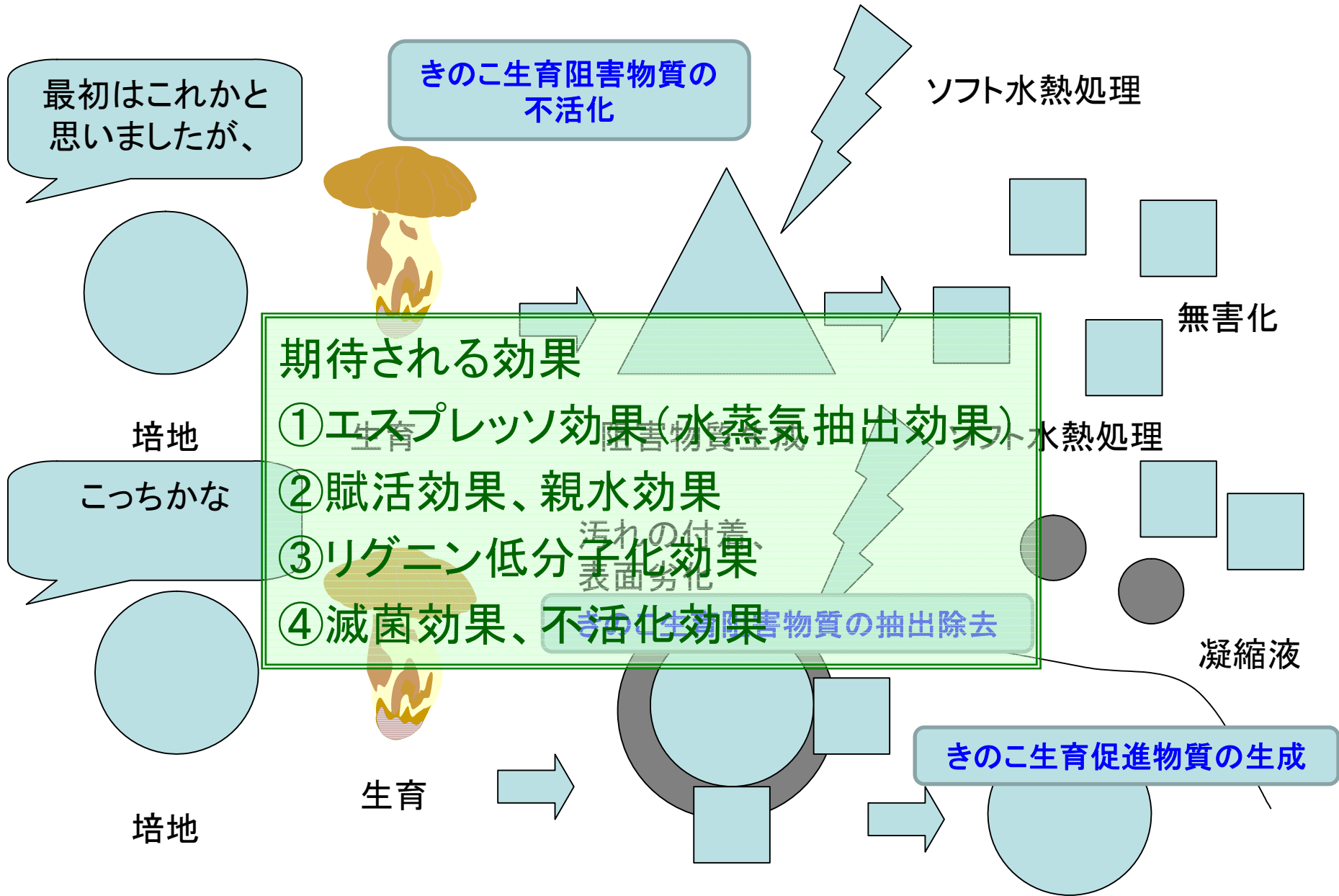
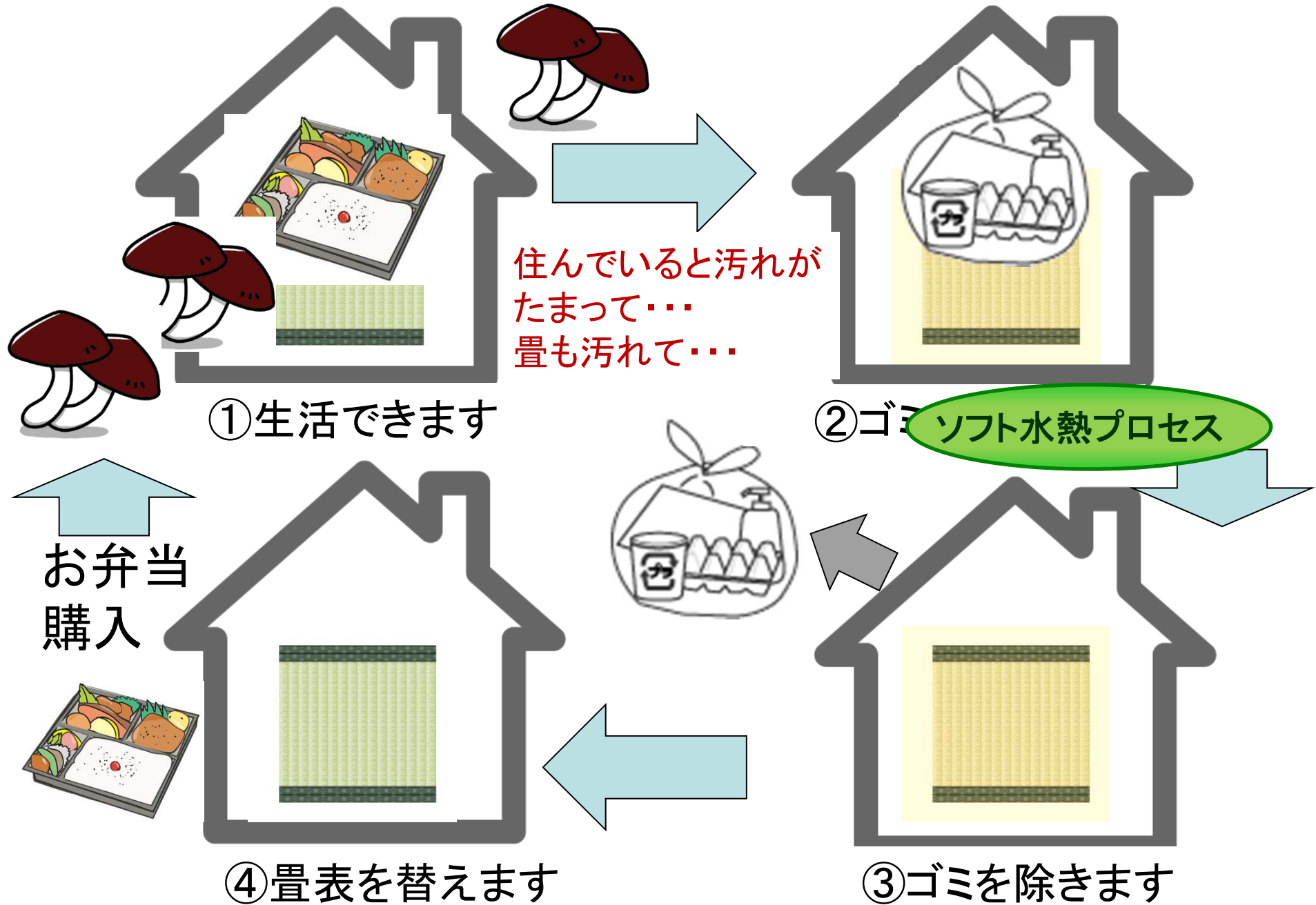


Fig. 5, The change of the amounts of the molecules contributing the difference from other groups and depending on growth of the mushroom but not on the soft-hydrothermal processing. The possible structures are in the insets.



ソフト水熱処理の反応モデル

ソフト水熱処理をアパート生活に例えると



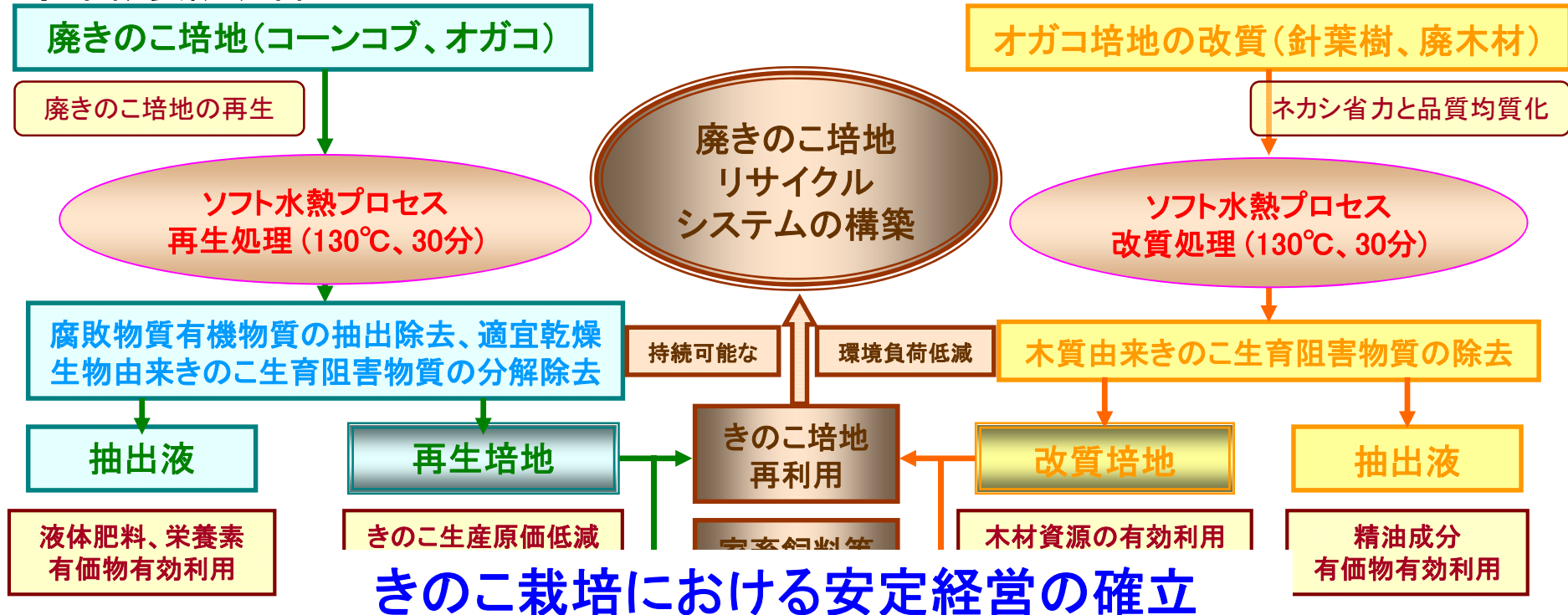
4. 環境政策への貢献

本事業により開発する技術がもたらす効果

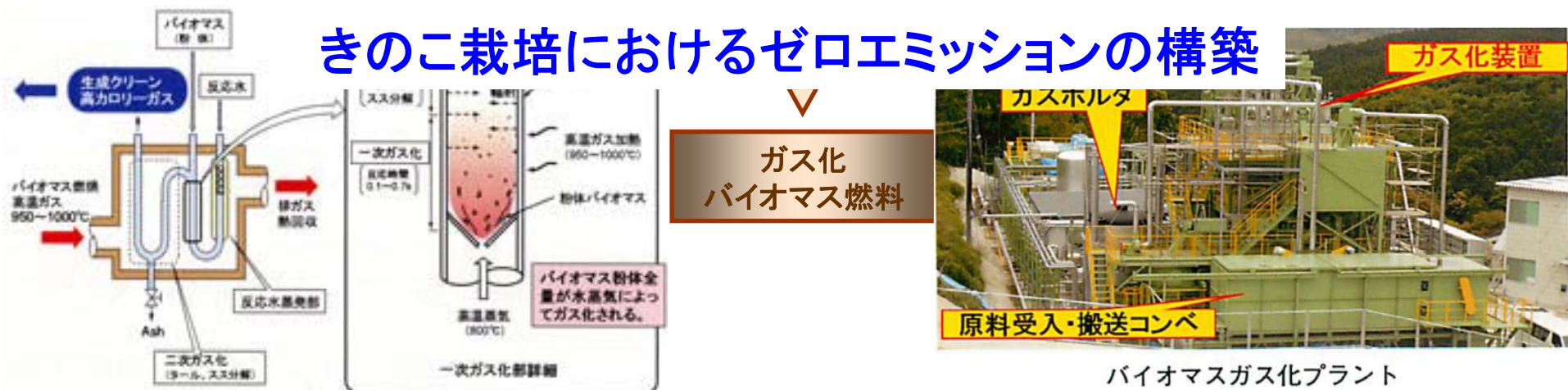
- 第1に、現在66%(中野市バイオマスタウン構想参照)しか堆肥向けに有効利用されていない廃きのご培地を再生培地として100%有効利用できることにある。したがって、中野市農協管内だけで数億円とも言われている廃棄処理費用の削減ができる。焼却、あるいは埋設廃棄に伴う環境負荷を低減できることは勿論である。
- 第2に、きのご栽培原価の低減ができる。コーンコブ新材を再生培地に代替率50%しても1.67円/1本の原価削減ができる。標準的な培養センターで年間1.67円/1本×19,408,896本=32,400千円の原価削減となる。この金額は、実用機の初期投資150,000千円を数年で償却できるものである。
実用機は、標準的な培養センターの廃きのご培地再生処理能力10ton/1day-4batchを目指す。
- 第3に、再生改質処理培地による培地自体の均質化と品質向上が期待できる。廃きのご培地再生処理により、きのごの品質、および収穫量の向上、さらにはきのご生産における再生培地によりきのご培養生育期間の短縮も期待できる。
- 第4に、現在きのご培地基材の主流であるコーンコブに代わって、国内産のオガコ(特にネカシの手間のかかる針葉樹)から木質由来のきのご阻害物質(テルペン類、フェノール等精油成分)を除去改質して、オガコきのご培地として有効活用できることである。
- 第5に、ソフト水熱プロセス処理した再生培地は家畜(特に反芻動物)の飼料としても利用することができ、輸入飼料高騰のために困窮する畜産農家の経営を支援できる。

ソフト水熱プロセスによる使用済みきのこ培地再生処理技術

事業概要説明書



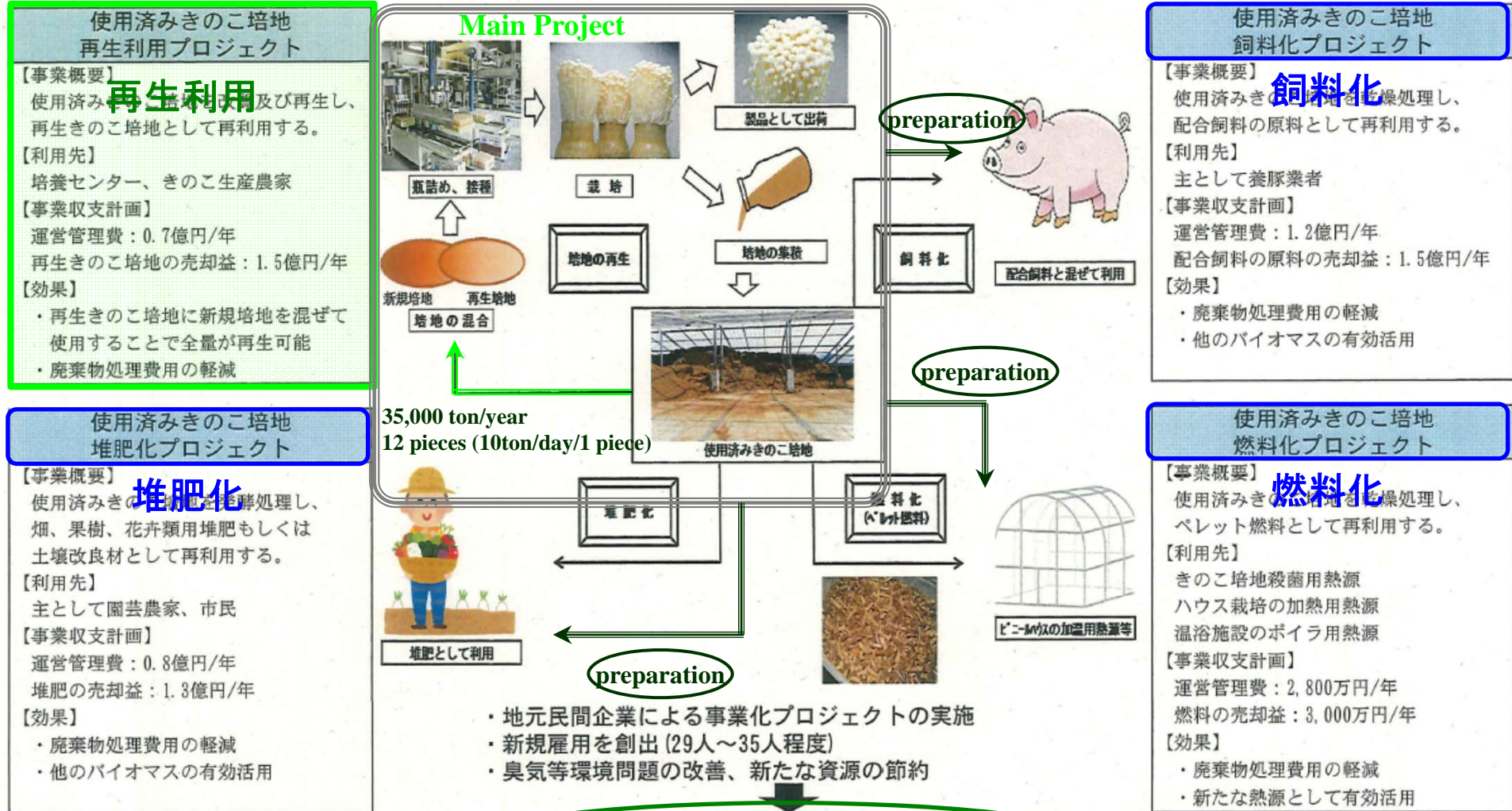
きのこ栽培におけるゼロエミッションの構築



Soft-hydrothermal Processing Framework in Future (2016-2018)

中野市バイオマス産業都市構想の概要

日本有数のきのこの生産地である本市にて大量に発生する「使用済みきのこ培地」の活用を軸とした4つの事業化プロジェクトを推進することで、地元民間企業の技術力等を活用した「持続可能な地域循環型社会の構築」を目指す。



使用済みきのこ培地再生利用プロジェクト

再生利用

【事業概要】
使用済みきのこ培地を乾燥処理し、再生きのこ培地として再利用する。

【利用先】
培養センター、きのこ生産農家

【事業収支計画】
運営管理費：0.7億円/年
再生きのこ培地の売却益：1.5億円/年

【効果】
・再生きのこ培地に新規培地を混ぜて使用することで全量が再生可能
・廃棄物処理費用の軽減

使用済みきのこ培地飼料化プロジェクト

飼料化

【事業概要】
使用済みきのこ培地を乾燥処理し、配合飼料の原料として再利用する。

【利用先】
主として養豚業者

【事業収支計画】
運営管理費：1.2億円/年
配合飼料の原料の売却益：1.5億円/年

【効果】
・廃棄物処理費用の軽減
・他のバイオマスの有効活用

使用済みきのこ培地堆肥化プロジェクト

堆肥化

【事業概要】
使用済みきのこ培地を乾燥処理し、畑、果樹、花卉類用堆肥もしくは土壌改良材として再利用する。

【利用先】
主として園芸農家、市民

【事業収支計画】
運営管理費：0.8億円/年
堆肥の売却益：1.3億円/年

【効果】
・廃棄物処理費用の軽減
・他のバイオマスの有効活用

使用済みきのこ培地燃料化プロジェクト

燃料化

【事業概要】
使用済みきのこ培地を乾燥処理し、ペレット燃料として再利用する。

【利用先】
きのこ培地殺菌用熱源
ハウス栽培の加熱用熱源
温浴施設のボイラ用熱源

【事業収支計画】
運営管理費：2,800万円/年
燃料の売却益：3,000万円/年

【効果】
・廃棄物処理費用の軽減
・新たな熱源として有効活用

持続可能な地域循環型社会の構築
持続可能な循環型農業システムの構築

- ・地元民間企業による事業化プロジェクトの実施
- ・新規雇用を創出(29人～35人程度)
- ・臭気等環境問題の改善、新たな資源の節約

謝辞

東北大学動物実験センター

中野市農業協同組合

中野市農業協同組合営農部きのこ技術課

えんとく培養センター

信ナカビーエスター

国立研究開発法人海洋研究開発機構(JAMSTEC)

海洋生命理工学研究開発センター

長野県工業技術総合センター材料技術部門

近畿大学農学部 応用生命化学科

一般社団法人 国際環境研究協会

笠井 憲雪 先生

望月 隆 常務理事様

市村 昌紀 課長様

篠田 清嗣 課長代理様

土屋 洋介 係長様

荻原 勉 社長様

荻原 大輔 社長様

大田 ゆかり先生

黒澤佳奈子 研究員様

石黒 周司 部長様

工藤 誠 一部長様

藤沢 健 主任研究員様

白坂 憲章 先生

福田 泰久 先生

安田 憲二 P O 様

御静聴有難うございました。

「東北大学」「宮本徹」「ソフト水熱」で検索

<http://www.rpip.tohoku.ac.jp/seeds/profile/5/>

<http://www.rpip.tohoku.ac.jp/seeds/profile/5/lang:en/>

<http://www.rpip.tohoku.ac.jp/seeds/profile/6/>

<http://www.rpip.tohoku.ac.jp/seeds/profile/6/lang:en/>

<http://www.rpip.tohoku.ac.jp/seeds/profile/7/>

<http://www.rpip.tohoku.ac.jp/seeds/profile/7/lang:en/>

<http://www.rpip.tohoku.ac.jp/seeds/profile/339/lang:jp/>

