平成26年8月20日　の竹イノベーション研究会における
「放置竹林との利活用を考えるセミナー」用資料

超好熱細菌による『超好熱・好気発酵法』と『綿状竹短繊維』との融合による新法面緑化工法の開発

九州大学大学院 農学研究院 特任教授
金澤晋二郎

研究の背景

我が国の竹林の面積は急増し、平成19年の調査では16万haで，放置竹林を加えると総面積は40万haに達する。九州の各県が竹の生産量上位5位を占め、特に九州で深刻である。

例えば、福岡県の竹林面積（森林簿）は11,200ha（森林面積5%）を有し、上記以外に進入竹林面積平成13年 :4.500ha、平成15年 :5,200haと急増している。

竹の再利用技術については様々提案されているが、現時点では確定的な方法はない。竹炭、燃料化、竹粉にして種々の素材料（農業・工業）として利用するなど、様々な技術提案があるが、主にコスト、そして搬送やエネルギーの問題から成功している事例は少ない。

竹林の荒廃

里山・森林の荒廃の一因である放置竹林・侵入竹
タケノコの有数な産地である
北九州の直近の環境問題

講演の概要

研究Ⅰ．　法面緑化資材の問題点

未熟な家畜糞やバーク堆肥、生チップなどに多量の化学肥料の添加が主因
1）肥料成分の流出による河川や地下水汚染
2）未熟な堆肥による外国（外来）雑草の繁茂や生育阻害
3）生チップによる植物生育阻害（フエノール酸：バニリン酸、p-オキシ安息香酸、精油）

研究Ⅱ．　新規技術の開発

1．超好熱細菌による『超高熱・好気発酵法』の創生
『土と植物の薬膳』（バイオハザードフリー堆肥）の開発

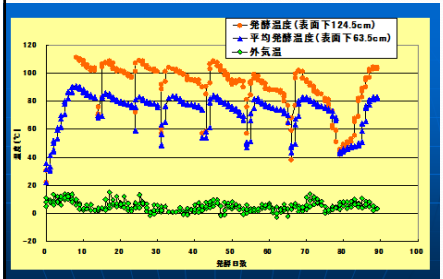
2．新法面緑化資材『とってもエコダー』の開発
1）．綿状竹短繊維と『土と植物の薬膳』との融合緑化資材
2）．空中窒素固定菌誘導工法

超好熱細菌による
『超好熱・好気発酵法』の開発
（バイオハザード堆肥化技術）

超好熱細菌による超高温・好気発酵法とは？

超好熱細菌
（高熱耐性酵素）

試みた有機資材： 家畜糞尿、下水汚泥、食品残渣、剪定枝、ワラ類、海産物、原発からのムラサキ貝



土と植物の薬膳の製造過程における発酵温度の変化

1. 高い発酵熱（80℃以上）により大腸菌・病原菌・寄生虫卵・雑草種子の死滅。
2. 従来の堆肥化技術よりも半分以下の期間で、完熟堆肥となる
3. 悪臭資化菌による臭気の低減

何故、超高温・好気発酵なのか

病原菌および寄生虫の耐熱性　（Golueke，1977）

	致死条件 温度，℃	致死条件 時間，分	備考
チフス菌	55～60	30	46℃以上で生長停止
サルモネラ菌	56	60	
	60	15	
赤痢菌	55	60	
大腸菌	55		
	60	15～20	
ブドウ球菌	50	10	
連鎖球菌	54	10	
結核菌	66	15～20	

	致死条件 温度，℃	致死条件 時間，分	備考
ジフテリア菌	55	45	
ブルセラ菌	61	5	
アミーバ赤痢	55		シスト
条虫	55～60	5	
旋毛虫	63～65		50℃，1時間処理で感染性減少
アメリカ鉤虫	45	50	
回虫	60	15～20	卵

各種病原菌・寄生虫の土壌および植物体上での生残性

生物	培地	生存期間
回虫卵	土壌	7年以上
	野菜	27～35日
チフス菌	土壌	29～70日
	野菜	31日
コレラ菌	ホウレンソウ，レタス	22～23日
アミーバ赤痢	非酸性野菜	2日
	野菜	3日
	土壌	8日
大腸菌	牧草	14日
	トマト	35日
鉤虫（幼虫）	土壌	6週
レプトスピラ	土壌	15～43日
ポリオビールス	汚染水	20日
チフス菌	ダイコン	53日
	土壌	74日
赤痢菌	トマト	2～7日
結核菌	土壌	6月
チフス菌	土壌	2～40日

堆積牛糞内に11～14日間埋設した雑草種子の発芽率

（単位：%）

	堆積牛糞内の埋設条件 表面（30℃未満）	上層（60℃以上3日間）	中層（60℃以上3日間）	対照
メヒシバ	96	0		74
ノビエ	72	0		87
カヤツリグサ	56	0		30
シロザ	26	0		16
オオイヌタデ	8	0		53
スベリヒユ	85	0		91
イヌビエ	68	0		70
エノキグサ	7	0		51
クワクサ	26	0		19
稗	75	0		98
オオムギ	16	0		96

（須賀，1997）

コンポストの原料となる牛糞，下水汚泥および都市ごみ中の大腸菌群数

原料	大腸菌群数（CFU or MPN/g）	地域	出典
牛糞	3.0×10^{6}	日本	梅田ら，1999
	1.3×10^{6}～3.0×10^{7}	日本	羽生ら，1997
	2.3×10^{5}～3.3×10^{5}	日本	本多，1999
	3.0×10^{5}～3.0×10^{7}	フィンランド	Vuorien&Saharinen，1997
下水汚泥	2.0×10^{8}～1.5×10^{9}	米国カリフォルニア	Greenbergら，1986
	4.0×10^{5}～3.0×10^{6}	米国カリフォルニア	Pereira-Netoら，1986
都市ごみ	5.0×10^{9}	フランス	Deportesら，1998
	4.6×10^{6}	イタリア	Peraら，1991
	※ 4.0×10^{7}	米国カリフォルニア	Pereira-Netoら，1986

注 ※糞便性大腸菌群数

有機栽培野菜における大腸菌群などによる汚染

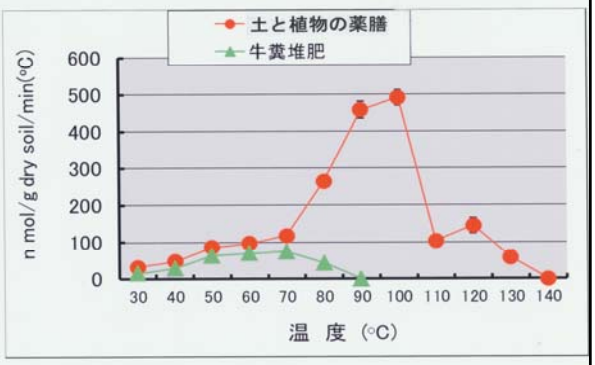
（上田・桑原，2002）

試料	試料数	大腸菌群 陽性率（%）	大腸菌群 菌数※（Log CFU/g）	糞便性大腸菌群 陽性率（%）	糞便性大腸菌群 菌数※（MPN/g）	セレウス菌 陽性率（%）	セレウス菌 菌数※（Log CFU/g）
有機栽培葉菜	153	98	2.8±1.7	0	0	84	2.4±0.9
市販葉菜	44	56	4.5±4.3	0	0	39	2.7±0.6
有機栽培圃場土壌	101	100	3.0±1.2	7	4.7±5.1	100	4.8±0.4
市販合成有機肥料	19	0	0	0	0	68	2.8±0.5
有機肥料原材料※※	11	64	3.7±0.8	36	56.7±53.3	72	2.4±0.7

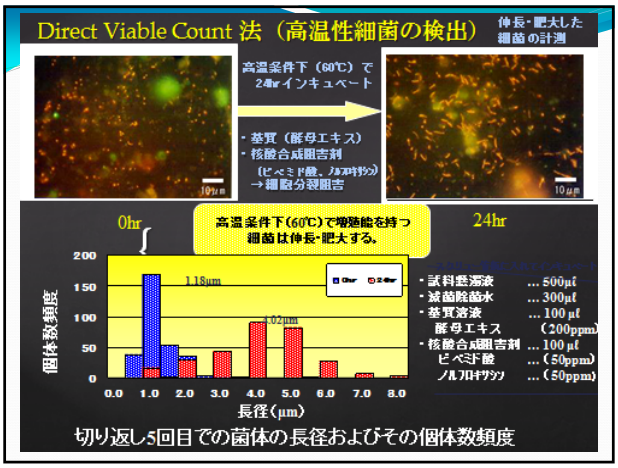
注　菌数※は，陽性試料の平均値と標準偏差を示す。大腸菌群とセレウス菌では菌数の対数を，また糞便性大腸菌群では菌数の実数を表示していることに注意
有機肥料原材料※※は，魚かす，菜種，肉骨粉，皮粉，ふすま，おから，魚粉，ボカシ，トウゲン，バイムフード，および骨粉各1点

堆積作業終了
（左）

切返し作業
（右）
写真3



切返５回目における高熱耐性ホスファターゼ活性



好熱菌計数用DVC 法について

使用する核酸合成阻害剤はピペミド酸とノルフロキサシンで、どちらも耐熱性を持つ（90℃、2日間処理後でも阻害作用り）。

添加する基質は酵母エキス

阻害剤添加後の培養（インキュベーション）温度は

60℃
80℃

↓

60℃で増殖できる好熱菌だけが伸長・肥大化する

80℃で増殖できる高度（超）好熱菌だけが伸長・肥大化する？

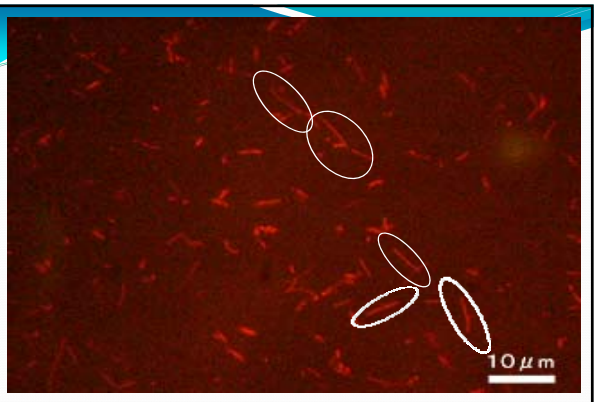


写真1： 70℃、24時間培養後の様子

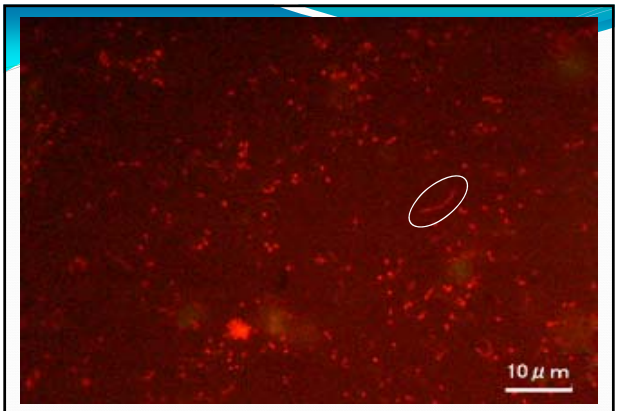
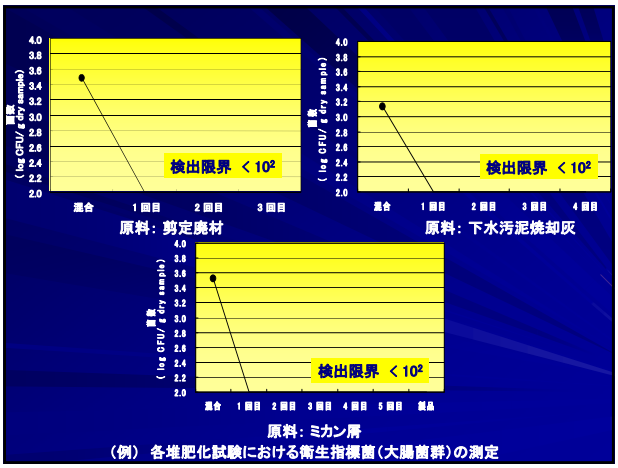


写真2： 80℃、24時間培養後の様子



そうか病菌に汚染されたジャガイモと病原菌*S.scarbies*

DNA抽出装置

九大堆肥舎における
ジャガイモそうか病菌の埋設実験

九州大学堆肥化過程におけるnec1遺伝子量の変化

原料	1回目			2回目	3回目	4回目	完成品
	左	中央	右	中央	中央	中央	中央
23309*	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D

*Nec1遺伝子量(copies/g-soil)　　N.D（Not Detectable）

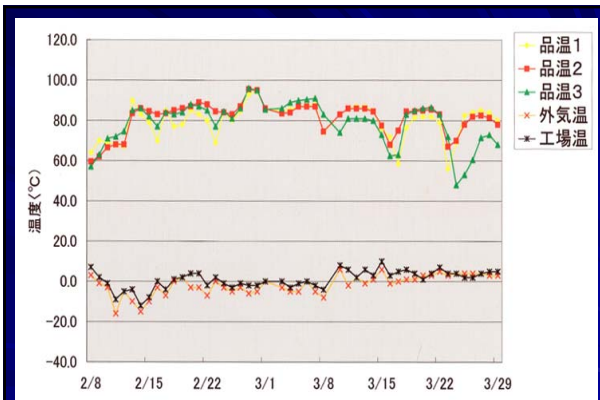
“超高熱・好気発酵法”により、ジャガイモそうか病菌S.scarbiesは、堆肥化初期の発酵熱（80～90℃）により、nec1遺伝子が分解消失していた。

従って、そうか病菌S.scarbiesが発酵初期に死滅と同時に超好熱細菌に同化され消滅することを示している。

雪の中の工場全景（左）

切返し中 工場南側シャッター（右）

除雪後ブロアー室（左）



超高温・好気発酵法による寒冷地の下水汚泥堆肥化過程の温度

H14.2/17
切返し1回目1日
温度85℃，83.5℃，84℃
工場温　-4℃
（左）

H14.2/21
切返し1回目5日
温度84℃，89℃，87℃
（右）

北海道帯広の実用堆肥化実験における nec1遺伝子量の変化

混合	1回目		2回目		3回目		4回目		5回目		完成品	
	内部	外側	内部	外側	内部	外側	内部	外側	内部	外側	内部	外側
1456*	N.D	1562*	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D

*Nec1遺伝子量(copies/g-soil)
N.D（Not Detectable）

ジャガイモそうか病菌フリー堆肥製造技術の確立

“超高熱・好気発酵法”による堆肥化過程のジャガイモそうか病菌*S.scarbies*は、モデル系（九大）では発酵直後の切返1回目で不検出。 他方、開放系（北海道帯広）では切返1回目で堆積堆肥の外側のみに検出、それ以降不検出。

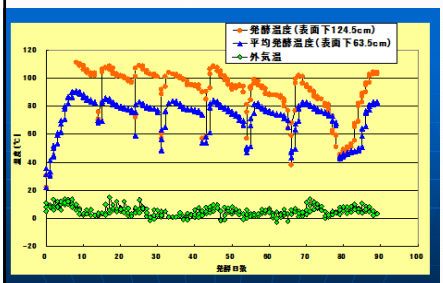
これは、堆肥化初期の発酵熱（80～90℃）で、nec1遺伝子が分解消失していることから、そうか病菌*S.scarbies*が発酵初期に死滅し、資化（消滅）することを示す。

以上の結果から、ジャガイモそうか病菌*S.scarbies*に汚染された収穫残渣及び食品加工残渣は、“超高熱・好気発酵法”により、そうか病菌フリー堆肥を製造できることが明らかになった。

九州大学ブランドゲッツ『土と植物の薬膳』

超好熱細菌
（高熱耐性酵素）

原料： 優良資材のみ使用
綿状竹繊維、ビール酵母、大豆、おから
米ぬか、アガリクス菌床、牡蠣がら



土と植物の薬膳の製造過程における発酵温度の変化

1. 高い発酵熱（80℃以上）により大腸菌・病原菌・寄生虫卵・雑草種子の死滅。
2. 従来の堆肥化技術よりも半分以下の期間で、完熟堆肥となる
3. 悪臭資化菌による臭気の低減

2. 新法面緑化資材の開発

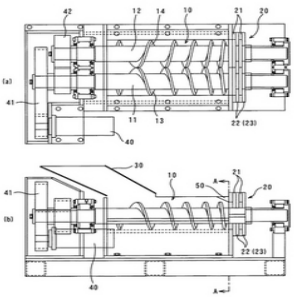
1）. “超好熱・好気発酵法“による『土と植物の薬膳』と『綿状竹短繊維』との融合緑化資材

2）. 空中窒素固定菌誘導工法

二軸スクリューによる竹材の新破砕処理機

本機はタケが綿状に粉砕される新機種である。

本機で得られた綿状に絡みあうタケ資材を新法面資材に採用するための基礎実験を実施



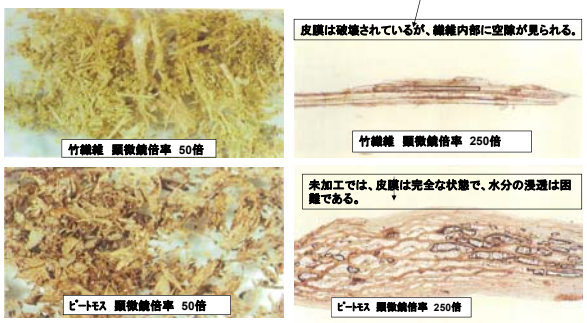
竹短繊維の特性

- 保水力・吸水力が高い
  → ピートモスの代替材
- 微生物の関与を受けやすい
  （タケは微生物の餌に富んでいる）
  → 窒素固定（窒素肥料の供給）

1）. 綿状竹短繊維と『土と植物の薬膳』（バイオハザードフリー堆肥）との融合緑化資材

竹短繊維の特徴

竹短繊維はピートモースの代わりに使用ができると同時にピートモースより保水効果が高いことが判明しました。



とってもエコダー（2軸）

背景

- 竹材を植繊機で綿状に加工した綿状竹繊維の機能
- 作物や果樹の病気を抑制し、生育を良好で品質が高まる。
- 主因は：竹に含有する
  1）植物生長ホルモン剤のジベレリン、
  2）豊富なビタミン類及び糖分、
  3）生薬成分による薬効、
  4）防腐や殺菌効果（人間には無害）、
  5）消臭効果、等々にあると推定される。

・『とってもエコダー』の製造工程

国土交通省 新技術活用システム　NETIS, QS-110013 A 認定済

綿状竹短繊維50% ＋ バーク堆肥45% ＋ 土と植物の薬膳５% を混合

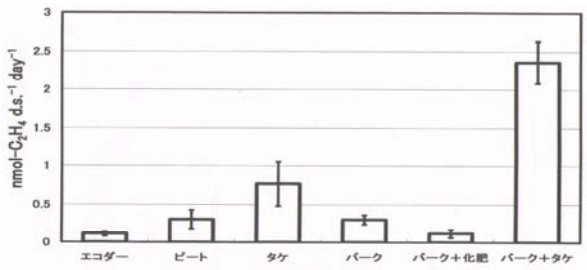
竹林の伐採

二軸機による竹短繊維

土と植物の薬膳

完熟バーク堆肥 → とってもエコダー

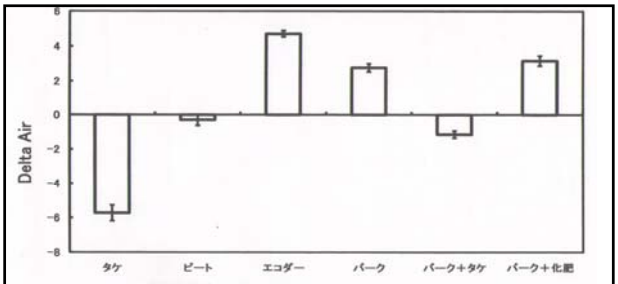
2）. 空中窒素固定菌誘導工法



第１図 生物窒素固定活性

窒素固定活性は、バーク+タケ区が最も高く、次いでタケ区が高い。バーク＋化肥及びエコダー区が最も低かった。

従って、タケには窒素固定菌が多数生息し窒素固定を活発に行っている。



第２図 窒素の同位体（$^{15}N/^{14}N$）比

Delta Air = ($^{15}N/^{14}N$ Sample - $^{15}N/^{14}N$ Standard)/($^{15}N/^{14}N$ Standarad)
Delta Air の値がマイナスに傾くほど，自然存在比に比べて，^{14}Nの比が高い

タケは、生物窒素固定によって大気中の軽い窒素（14N）から得られた窒素が最も多く、次いで多いのは、バーク＋タケ区であった。

従って、バーク堆肥にタケを添加することにより易分解性有機物が大量に加わり、バーク多量に含むリン及びミネラルが窒素固定菌の生育助け、窒素固定された窒素が

第３表 粉砕方法の異なる竹材の微生物数

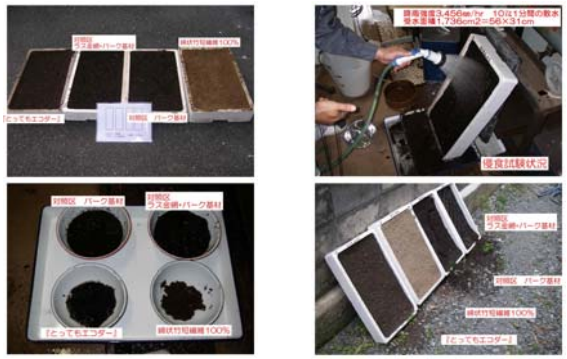
試料	糸状菌 (10^5g^{-1})	指数* (%)	細菌 (10^8g^{-1})	指数* (%)
チッパー	46.8 ±4.6	100	200.8 ±18.4	100
旧エコダー (25mm)	96.4 ±15.3	206	292.4 ±6.5	146
新エコダー1 (10mm)	143.8 ±13.0	307	526.4 ±51.9	262
新エコダー2 二軸ウス	282.2 ±30.7	603	713.4 ±53.9	355

* チッパーの菌数を100%として算出

新エコダー２の２軸臼によるタケ繊維は、細菌数及び糸状菌数を著しく増加させ、特に糸状菌は顕著であった。

即ち、２軸臼は細かい粒径画分が著しく多くなるため、微生物が生息できる表面積と餌の増大により微生物が顕著に増加したことを示している。

竹繊維の絡み結合による耐久性
（侵食量がバークの1/3 ）



降雨による基盤材の種類による浸食量

	基盤材の種類	接合剤	ラス金網	基盤材 (Kg)	浸食量 (g)	平均浸食量 (g)	指標
竹繊維法面緑化法	①竹繊維を主体	無	無	4.28	17	11	1
	（竹50%,バーク45%）			4.18	11		
	有機肥料：菜種 5%）			5.78	4		
	②竹繊維を主体	無	有	4.95	133	202	18
	（竹50%,バーク45%,			4.82	207		
	有機肥料：菜種 5%）			5.39	266		
従来型法面緑化法	③バークを主体	添加	無	5.56	296	428	40
	（バーク85%、ピートモス			5.35	552		
	15%）			5.75	436		
	④バークを主体	添加	有	5.31	716	639	58
	（バーク85%、ピートモス			6.49	725		
	15%）			6.34	627		

環境負荷低減型
『とってもエコダー』緑化工法

化学肥料・ラス金網・化学合成接着剤・ピートモス
を使わず

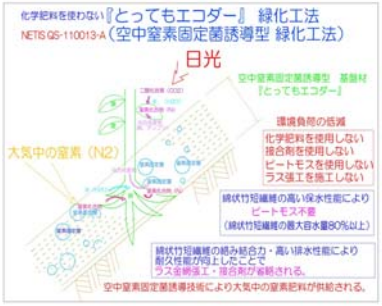
“山”から伐採された
“竹”を“山”に還す

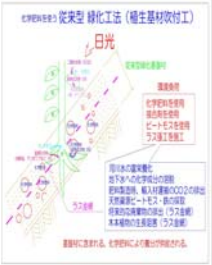
基盤材コスト比較

植生基材吹付(t=3cm)　　100m2当り

名称	規格	数量	単位	単価	金額 タケ100%	金額 タケ50%	金額 従来品
竹短繊維	とってもエコダー	6,000	㎏	39	234,000		
竹短繊維	とってもエコダー	3,000	㎏	39		117,000	
バーク	フクリン堆肥	3,000	㎏	14		42,000	
基盤材	ｺﾞｰﾙﾄﾞﾊﾟﾜｰｿｲﾙ12mm	6,000	㎏	25			150,000
即効性肥料	高度化成15-15-15	9	kg	127			1,139
緩効性肥料	ハイコントロール650	6	kg	373			2,238
計					234,000	159,000	153,377
m2当り単価					2,340	1,590	1,534
単価比					1.53	1.04	1.00

空中窒素固定菌誘導技術により
化学肥料が要らない





微生物の働きにより大気より窒素肥料を自然供給

結論

二軸スクリュー植繊機で加工した綿状竹短繊維を材料にして新規に植生緑化基盤材“とってもエコダー”を開発した。

その組合せは、綿状竹短繊維50%＋バーク堆肥45%＋土と植物の薬膳 5%である。

研究Ⅰでは、竹資材を活用した有機農業・都市ベランダ菜園・花卉用に開発したバイオハザード肥料（土と植物の薬膳）である。

研究Ⅱでは、竹資材を大量消費する公共土木工事用の法面緑化資材の開発である。本技術の特徴は、多量の竹資材を使用することである。

本研究が、北海道を除く日本全国で増加の一途を辿っている放置竹林の竹資源活用の一助となることを願っている。