

発電に向けた竹の活用のために 取得した知見

平成29年2月27日
山口県農林水産部 山田隆信

1 事業実施状況 (1) 事業の概要と協議会

■ 目的

竹材の「低コスト収集・運搬・燃料化システム」を様々な条件の事業地で実証を行い、下記特性を踏まえた竹バイオマス供給におけるコスト要因を整理し、事業化を見据えた竹材の供給体制を構築することにより、地域のエネルギー作物としての竹の活用を確立する。

■ 山口県竹資源エネルギー活用協議会

【設立】 平成26年3月4日

【目的】 地域一体となった新たな竹資源の収集・運搬・燃料化システムの構築

【構成員】 山口県、山口県森林組合連合会、
周南森林組合、カルスト森林組合、飯森木材(株)
中国電力(株)、(株)ミツウロコ岩国発電所

【事務局】 県農林水産政策課、アビームコンサルティング(株)

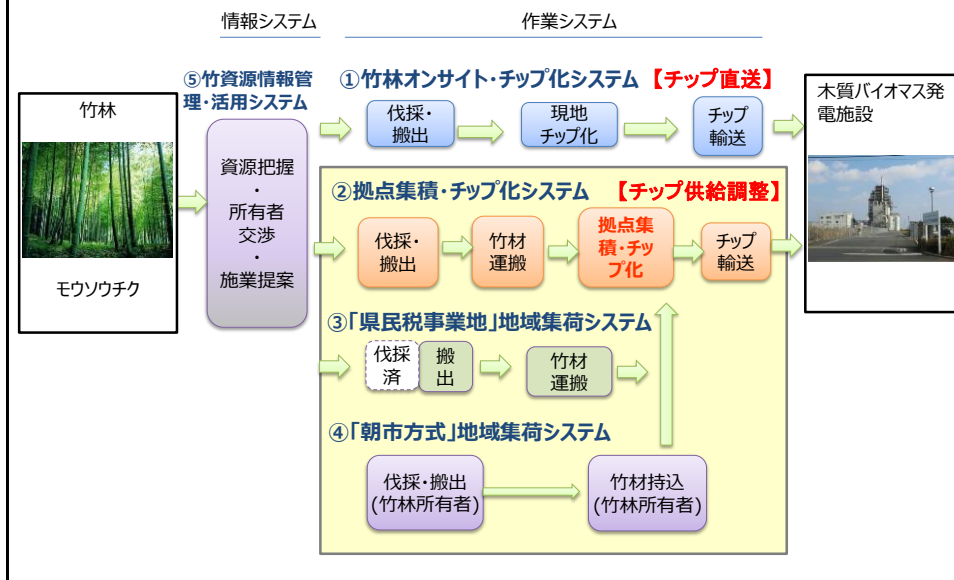


■ 実証期間

平成25～27年度

1 事業実施状況

(2) システムイメージ



1 事業実施状況

(3) 使用した機材①

■ 伐採



チェンソー

■ 伐採・集材・搬出



フェラバンチャーザウルス

■ 集材・搬出



グラップル

■ 集材



布製シューター



集材機

■ 搬出



フォワーダ

1 事業実施状況 (3) 使用した機材②

■ 運搬



2t箱トラック
平均1,077kg



4t箱ダンプトラック
平均2,368kg



6t箱ダンプトラック
平均2,670kg



4t平ボディトラック
平均2,822kg

- ・箱トラックは枝葉も積載可
- ・平ボディは竹稈のみ

↓チップの場合、1.2倍
平均3,215kg

1 事業実施状況 (3) 使用した機材③

■ チッパー 山土場用

- ・一破碎のみで直送できる品質



小型・切削型 GS400D
平均1.18t/h



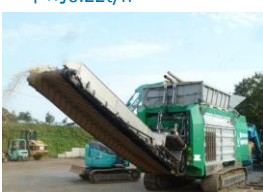
小型・切削型 GSC550DC
平均1.78t/h

■ チッパー 拠点用

- ・機械組合せによる高生産性



切削型 790TC
平均6.22t/h



破碎型 CRAMBO
平均9.02t/h



切削型 AX-35K
平均9.46t/h



2次破碎 Mobel S1000
平均20.27t/h

1 事業実施状況
(4) 実証試験 分析結果

■ 24か所(10ha) で実施、1,572 t を供給

作業システム	番号	面積		作業日数	生産量		生産性	作業システム	番号	面積		作業日数	生産量		生産性
		ha			t	t/ha	t/日			ha			t	t/ha	t/日
オンサイト	1	1.13		81	217.4	192.4	2.7	拠点集積	13	0.55		31	51.2	93.1	1.7
	2	1.03		57	265.9	258.2	4.7		14	0.42		48	56.0	133.3	1.2
	3	0.25		13	51.6	206.2	4.0		15	0.11		13	30.3	275.6	2.3
	4	0.1		15	18.7	186.7	1.2		16	0.37		49	124.0	335.1	2.5
拠点集積	5	0.43		32	47.6	110.7	1.5	県民税	17	0.23		23	36.6	159.3	1.6
	6	1.18		92	97.1	82.3	1.1		18	0.19		17	34.3	180.4	2.0
	7	0.11		15	21.7	197.0	1.4		19	0.21		20	61.6	293.5	3.1
	8	0.29		26	38.3	132.0	1.5		20	0.28		26	63.8	227.7	2.5
	9	0.1		9	9.5	94.7	1.1		21	0.15		6	22.7	151.3	3.8
	10	1.28		36	166.1	129.8	4.7		22	0.04		1	3.2	80.5	3.2
	11	0.52		20	48.3	92.9	2.4		23	0.1		5	7.5	75.0	1.5
	12	0.98		32	79.7	81.3	2.5		24	0.08		6	19.5	243.3	3.2

1 事業実施状況
(5) オンサイト・チップ化システム試験の実施状況（事業地2）

■ 試験地の概要

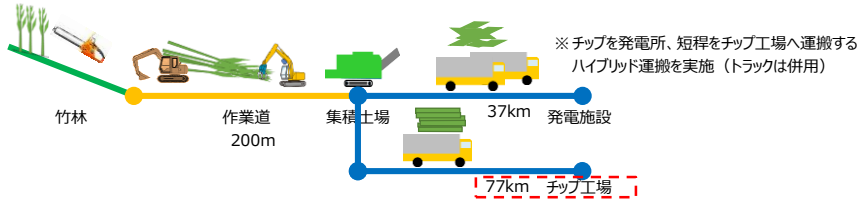
区分		概要
事業地名		天王1
竹の種類		モウソウ
竹の樹高と胸高直径		17m・11cm
竹のhaあたりの成立本数		13,600本/ha
作業人員		3名
変動要素	竹林の種類	純竹林
	傾斜	25°
	集材方式	下荷
	作業道～土場距離	200m

■ 試験実施の状況

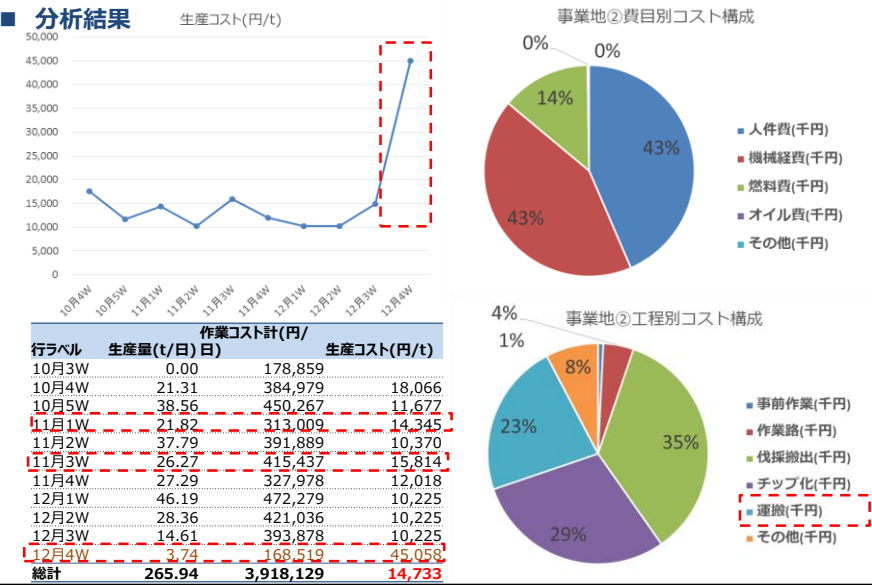


(搬出重量) 265.94t
(作業日数) 57日間
(特記事項)
・移動式チップパーの故障頻度が高い
・作業後半のエリアで竹1本あたりの材積が30%以下に低下
・チップ工場までの距離が77kmと長い

■ 機器の配置



1 事業実施状況
(5) オンサイト・チップ化システム試験の実施状況（事業地2）

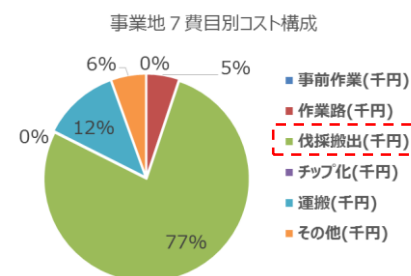
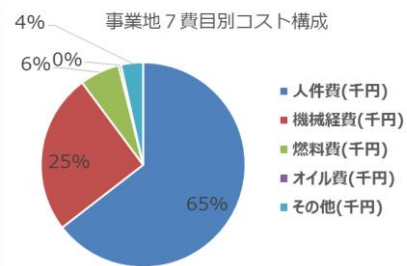


1 事業実施状況
(6) 拠点集積・チップ化システム試験の実施状況（事業地6）



1 事業実施状況
(6) 拠点集積・チップ化システム試験の実施状況（事業地6）

■ 分析結果



1 事業実施状況
(7) 「朝市方式」地域集荷システム試験の実施状況

■ アンケート実施結果

- ・本作業システムの調査を目的に、今回参画した所有者8名にアンケートを実施
- ・課題はあるが、本集荷システムが地域活性化に有効であることが確認できた。

分類	調査項目	調査結果
継続性	動機	・事業体により参加者数にバラつきが大きく、周知方法に課題あり。
	目的	・タケノコ生産や竹侵入防止目的の場合、継続性あり。 ※売買目的の場合、継続困難な傾向。
経済性	買取価格	・タケノコ生産や竹侵入防止目的の場合、8,000円/tで妥当。 ※売買目的の場合、10,000円/t以上を希望する傾向。
	作業時間	・持込運搬距離の影響が大きく、遠方の所有者は敬遠傾向。
生産性	量	・軽トラックでの持込が多い為、一括大量に持込することは困難。
	時期	・季節による偏りが大きい。特に冬場での持込可能者が多数。

1 事業実施状況

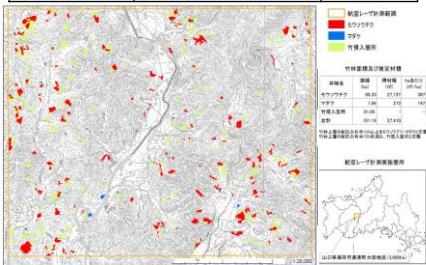
(8) 森林GISやICTを活用した竹資源情報管理・活用システムの実証①

■ 航空レーザ測量

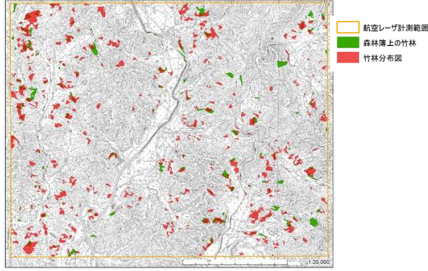
- ①純竹林と侵入竹林（②75%～50%、③50%～25%、④25%未満）の4区分による面積と分布把握
- 既存の森林簿情報と航空レーザ測量解析結果を比較し、**面積の拡大と分布の違い**を確認
- 分布・面積・推定材積等の**広域での高精度な竹資源情報把握**に有効

林相名	侵入率 (竹の上層樹冠占有率)	面積 (ha)
モウソウチク林		68.33
モウソウチク 侵入竹林	75%～50%	11.23
	50%～25%	28.34
	25%未満	40.68
	計	80.25

林相名	森林簿 竹林面積(ha)	航空レーザ計測 竹林面積(ha)
モウソウチク	18.12	68.33
マダケ	5.51	1.86
ハチク	3.28	
竹侵入竹林	25.03	80.25
合計	51.94	151.19



竹林（侵入竹林含む）解析結果



航空レーザ解析と森林簿の竹林分布比較

1 事業実施状況

(8) 森林GISやICTを活用した竹資源情報管理・活用システムの実証②

■ 地上レーザ測量

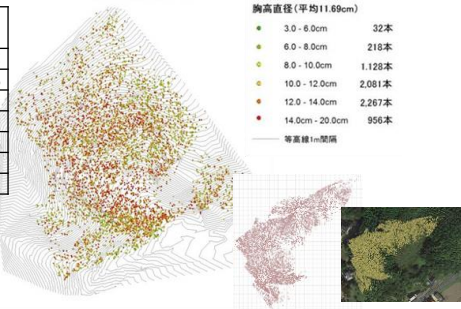
- 計測したデータ（点群データ）を自動判別で捕捉できた本数に対し、実際の本数は多く、捕捉率は約83%（89～60%）
- 自動判別で得られた竹の胸高直径で分類した立木位置解析により、**林内の本数密度、材積、微地形が把握でき、低コスト作業計画立案に有効**



地上レーザ測量・竹本数捕捉解析結果

地上レーザ測量・竹本数捕捉解析結果

地名	レーザ測量値 (本/ha)	捕捉率 (%)	捕捉率補正值 (本/ha)
周南市安田	5,540	84	6,595
(区域内空地控除)	9,430	84	11,226
周南市大道理	5,220	89	5,865
(区域内空地控除)	6,364	89	7,151
山陽小野田市厚狭	6,423	85	7,556
美祢市綾木	8,889	89	9,988
美祢市綾木	6,813	60	11,355

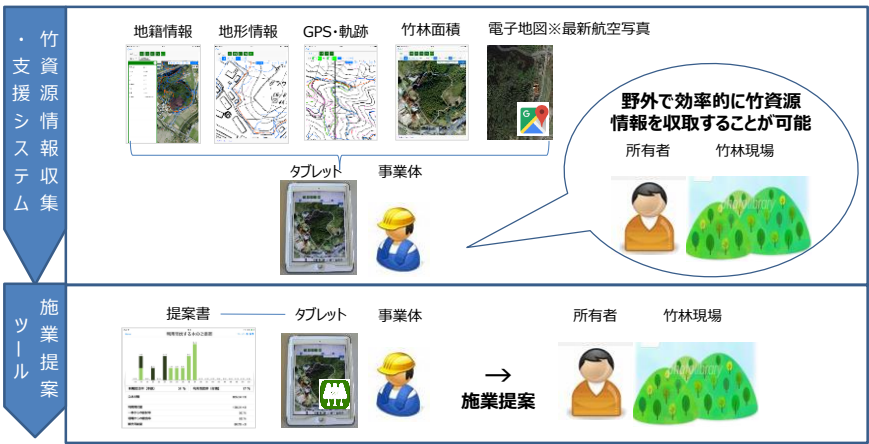


1 事業実施状況

(8) 森林GISやICTを活用した竹資源情報管理・活用システムの実証③

■ 竹資源情報収集・支援システムと施業提案ツール

タブレットを活用した現場での竹資源情報収集や施業提案により、計画立案や所有者との交渉に有効性を確認



1 事業実施状況

(9) 竹チップ燃料の発電利用①

■ (株)ミツウロコ岩国発電所（木質専焼）

【実証試験】

- ・(株)ミツウロコ岩国発電所（10,000kw、10万t/年）で、通年で燃焼試験を実施
平成26年度 936t、平成27年度1,480tの竹チップを混焼
- ・混焼集中期間で混焼率を上げた燃焼試験

区分	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月
混焼集中試験		5.1% 8.4%				7.3%			7.9%
竹燃焼試験	前期516t 平均混焼割合1.0% 平均含水率46.7%				後期964 t 平均混焼割合1.7% 平均含水率43.2%				

■ 竹燃焼状況

【結果】

- ① 主蒸気温度、出口蒸気温度の著しい変化なし
- ② 通風障害も認められず、グリンカー付着増による弊害も進行していない

1 事業実施状況
(9) 竹チップ燃料の発電利用②

■ 竹チップ成分（未利用木材との比較）

		受入ベース				無水ベース			
		竹	古竹	一般木材	未利用木材	竹	古竹	一般木材	未利用木材
全水分	%	44.69	20.90	55.15	48.03	-	-	-	-
灰分	%	1.04	0.70	2.83	2.01	1.70	0.88	3.90	6.55
低位発熱量	kJ/kg	8,718	13,530	6,606	7,980	17,833	17,765	17,656	17,768
炭素 (C)	%	27.11	39.39	21.83	25.65	49.15	49.80	49.35	48.63
水素 (H)	%	3.48	5.09	2.73	3.36	6.32	6.43	6.47	6.04
窒素 (N)	%	0.18	0.18	0.12	0.14	0.32	0.23	0.27	0.27
酸素 (O)	%	23.35	33.50	17.22	20.73	42.26	42.35	39.88	38.24
硫黄 (S)	%	0.02	0.03	0.02	0.01	0.03	0.04	0.01	0.05
塩素 (Cl)	%	0.10	0.07	0.07	0.01	0.18	0.09	0.01	0.14
ナトリウム (Na)	%					0.02		0.01	0.16
カリウム (K)	%	0.26	0.22	0.09	0.12	0.45	0.28	0.12	0.19

2 竹の生産コストが高い要因
(1) 作業システム考察 ～枝払いが人力作業～

■ 伐採～集材～造材(玉切り)の高コスト要因

- ・造材コスト高の要因として、**枝付部（34～61%）の処理**がある。
- ・竹の枝は弾力性に富むため棚積みやトラックへの積載効率が悪く、持ち出さない場合は丁寧に枝払いして棚積みする必要があり、**枝払い作業が53%**を占めている。



枝払い（人力）

□立竹の伐倒～玉切～枝払の作業時間

区分		胸高直径		伐倒時間		玉切時間		枝払時間		合計	
番号	樹高							秒	%		
	m	cm	秒	%	秒	%	秒	%	秒	%	
①	19	14	20	9.3	70	32.6	125	58.1	215	100	
②	19	12	22	11.0	72	36.0	106	53.0	200	100	
③	18.5	15	24	10.2	96	40.7	116	49.2	236	100	
平均	18.8	14	22	10.2	79	36.4	116	53.4	217	100	

注）枝払：①③は鉋、②はチェーンソーで実施

2 竹の生産コストが高い要因
(2) 作業システム考察 ～枝付部の処理が課題～

■ 伐採～集材～造材(玉切り)の高コスト要因

・枝払いをせずに**チップ化**か**バンドリング**作業により、枝葉も資源として搬出できるため**生産性は倍増**するが、**人力ではコスト削減にも限界**があるため、枝払い機、チップパー、バンドリングマシンの竹専用機の開発が望まれる。



バンドリング（人力）

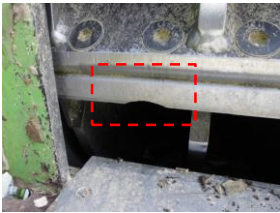
□ 枝払い・バンドリング・チップ化比較

番号	枝払			バンドル			チップ化		
	作業時間	生重量	生産性	作業時間	生重量	生産性	作業時間	生重量	生産性
	時	t	t/時	時	t	t/時	時	t	t/時
①	0.12	0.15	1.29	0.13	0.15	1.20	0.09	0.15	1.59
②	0.22	0.13	0.59	0.07	0.13	1.93	0.07	0.13	1.79
③	0.24	0.09	0.37	0.06	0.09	1.56	0.05	0.09	1.84
④	0.10	0.03	0.29	0.03	0.03	0.98	0.02	0.03	1.52
計	0.67	0.39	0.59	0.28	0.39	1.42	0.23	0.39	1.69
平均	0.17	0.10	0.63	0.07	0.10	1.42	0.06	0.10	1.68

2 竹の生産コストが高い要因
(3) 作業システム考察 ～竹に適したチップパー・チップ化システムの課題～

■ 現地で効率的に使えるチップパー

- ・一次破碎のみで50mmアンダーの品質の確保
- ・長時間連続使用できる耐久性
- ・トラックに直接投入できる等の作業性



■ 拠点(チップ工場)で使えるチップパー・システム

- ・一次破碎+二次破碎
- ・一次破碎+選別機

竹の特性に対応し、発電所の求める品質を生産できる
チップパー・チップ化システムの開発



2 竹の生産コストが高い要因

- ①haあたりの**成立本数が多く、作業量が多い**
平均11,300本/ha(5,400～21,900本/ha)
- ②竹は、中空で**一本当たりの資源量が少なく、作業効率が悪い**
平均46kg（7～81kg）
- ③竹の伐採・造材の**機械化がされていないため、人力作業が中心**
特に、枝打ちは手作業のみ
- ④竹の**特性（割裂性、硬度、滑り等）**に対応した専用のチップーとチップ生産システムが確立していないため、**チップ生産コストが高い**
- ⑤竹は放置すると拡大するので、人工林と違い、**正確な資源情報（面積・分布・資源量）の把握が困難**

3 竹のバイオマス利用のために (1) 生産コスト要因の解析①

分類	要素	コスト			重要度	内容
		減	中	増		
竹林条件	1. 一本あたりの材積	大	中	小	◎	・同じ作業で得られる生産量に大きく影響。
	2. haあたり本数	大	中	小	◎	・同じ面積で得られる生産量に大きく影響
	3. 竹の侵入割合	純竹林	侵入率大	侵入率小	○	・伐採、集材時の作業に負荷
	4. 傾斜度	大	中	小	○	・集材時の作業効率に影響
	5. 林道・作業道までの距離	隣接	近	遠	◎	・竹の搬出効率に影響。(動線が長いとボトルネックになる)
	6. 林道・作業道・土場広さ	広	中	狭	◎	・竹の集材及び運搬効率に影響
現場作業	7. 集材(上荷・下荷)方式	下荷	—	上荷	◎	・集材時の作業効率に影響。 ・上荷を採用すると生産性が著しく低下する。
	8. 林内作業車の小運搬	無	—	有	◎	・積載効率が悪く搬出距離が長いとコスト高 ・積載・積降作業によるコスト増
	9. 架線集材	無	—	有	○	・数本単位でしか集材できず、本数が多い竹林では不利 ・集材距離が長いとボトルネック
	10. チップー性能・耐久性	良	中	不良	○	・処理能力が低いと前後の作業工程に影響 ・機械停止の頻度と時間により、他作業が遅延
	11. バンドリングの機械化	有	—	無	○	・バンドリング時の作業効率に影響 ・但し機械コストが上がるので、生産量とのバランスを考慮
運搬距離	12.トラックの大きさ	4t以上	4t	2t以下	◎	・同じ運搬で得られる積載量に大きく影響。
	13. 竹林からの運搬距離	近	中	遠	◎	・トラック運搬回数に影響し、近いほどコスト削減に繋がる。
現場人材	14. 作業員の熟練度	高	中	低	○	・伐採、集材、搬出時の作業効率に大きく影響。 ・熟練度が高いほど機械の取扱や作業の段取りが早い。
	15. 作業員の賃金単価	低	中	高	◎	・作業日数がかかるとコスト削減に影響。
	16. 作業班長の統率力	高	中	低	◎	・現場での作業員待ち時間解消に影響。

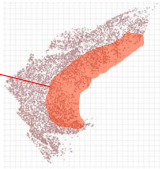
3 竹のバイオマス利用のために
(1) 生産コスト要因の解析③

■ 生産コストの要因分析

・H27実証試験で生産コストが最も低かったオンサイト・チップ化システムを採用した事業地2「天王1」の実績を元に、コスト要因を分析した。

分類	要素	コスト			重要度
		減	中	増	
竹林条件	1. 一本あたりの材積 (胸高直径、樹高で推定)	大	中	小	○
	2. haあたり本数	大	中	小	○
	3. 竹の侵入割合	純竹林 100%	竹侵入率大	竹侵入率小	○
	4. 傾斜度	大	中	小	○
	5. 林道・作業道までの距離	隣接	近	遠	○
	6. 林道・作業道・土場の広さ	広	中	狭	○
現場作業	7. 集材（上荷・下荷）の方式	下荷	—	上荷	○
	8. 林内作業車の小運搬	無	—	有	○
	9. 架線集材	無	—	有	○
	10. チッパー性能・耐久性	良	中	不良	○
	11. ハンドリングの機械化	有	—	無	○
運搬距離	12. トラックの大きさ	4tトラック以上	2tトラック	2tトラック以下	○
	13. 竹林からバイオマスC又は発電所までの距離	近	中 30km内	遠	○
現場人材	14. 作業員の熟練度	高	中	低	○
	15. 作業員の賃金単価	低	中	高	○
	16. 作業班長の統率力	高	中	低	○

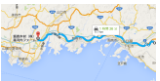
【要因1】
グランド跡地に侵入した竹が小型で材積が低下し生産コストが増加。



【要因2】
枝詰り等で移動式チッパーの故障が多発した期間があった。



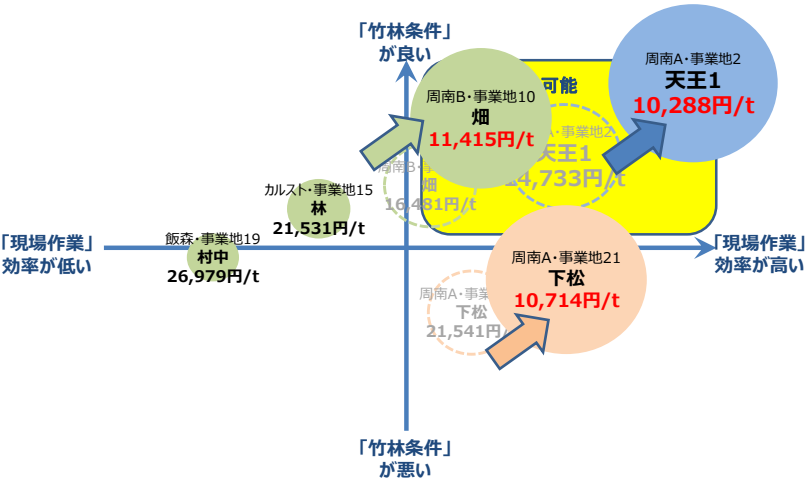
【要因3】
チップ工場までの距離が長かった。



3 竹のバイオマス利用のために
(1) 生産コスト要因の解析⑥

■ 実証試験での生産コスト分布

・「天王1」「畑」「下松」の3事業地にて生産コストシミュレーションを実施



3 竹のバイオマス利用のために (2) 今後の課題①

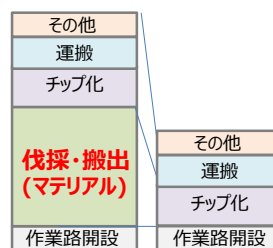
1 正確な竹資源情報の把握

- 既存の情報では、**竹林の分布、面積、賦存量、竹の密度、地形、竹林所有者等の正確な情報**の把握が困難
- 低コスト安定供給のため、**最適条件の竹林確保が必須であり、高精度な竹資源情報の把握**が課題

2 竹のマテリアル利用による伐採・搬出・造材経費負担0

- スギやヒノキなどのバイオマス燃料は、材生産後の林地残材を集めるため伐採・集材・造材経費は0コスト。
- また、**間伐は補助事業対象(竹の間伐は補助対象外)**
- 竹材の高付加価値マテリアル利用を開発することで、**伐採・集材・造材経費削減による低コスト化**が可能

伐採・搬出・造材経費負担0イメージ



3 竹のバイオマス利用のために (2) 今後の課題②

3 発電利用に供する竹の証明

- 竹バイオマス生産コストは高いため、**未利用木材としての証明が不可欠**
- 竹を未利用木材として証明には、**森林経営計画の策定**か、県か市町村による**除伐の独自証明が条件**

竹林種類	伐採方法	事業者が伐採		所有者が伐採
		経営計画有 保安林 国有林	経営計画無 独自証明有	所有者証明有
純竹林	主伐	未利用木材	一般木材	一般木材
森林への 侵入竹林	皆伐	未利用木材	一般木材	一般木材
	間伐	未利用木材	一般木材	一般木材
	除伐	未利用木材	未利用木材	未利用木材

- ※ **網掛け部は独自の証明が必要**
- ※ 網掛け部以外は、通常の証明方法
- ※ **純竹林の間伐は施業として認められない**
- ※ 上記以外はすべてリサイクル木材

3 竹のバイオマス利用のために

(2) 今後の課題③

■ 竹専用の機械及び作業システム開発と導入補助

1. 竹は軽量でhaあたりの成立本数が多いため、通常の高性能林業機械では竹の伐採・造材・搬出が効率的に行えない。
2. 竹の伐採・造材工程においてハーベスタやプロセッサが使用できず、伐採と造材はチェーンソーで、枝払いがナタによる人力作業となり高コスト。
3. 枝払いは作業時間の53%を占め、実証試験で導入したバンドル作業も、適したバンドリングマシンがないため人力作業となり高コスト。
4. 現場に持ち込める中規模チップパーで、一次破碎のみで50mmアンダーに破碎でき、長時間連続運転できるチップパーがない。
5. チップ工場で、品質の保てる高効率低コストなチップパー、チップ化システムがない。

- 
- 小型重機に対応したアキュムエート(集積)機能付き伐採集材アタッチメント
 - 小型重機に対応した枝払いアタッチメント
 - 小型重機に対応したバンドル機能アタッチメント
 - グラップル投入ができる現場対応型の竹専用チップパー
 - グラップル投入ができる現場対応型の竹専用バンドリングマシン
 - チップ生産施設での効率的なチップ化システム