

平成 29 年度特用林産振興総合対策事業のうち
特用林産物の供給力の向上のうち
効率的な竹林施業体系の構築
報告書

平成 30 年 3 月

一般社団法人 日本森林技術協会

目次

1. 事業の背景・目的.....	1
1.1. 事業の背景.....	1
1.2. 事業の目的.....	2
1.3. 事業概要.....	2
2. 基本方針の検討.....	3
2.1. 施業の面から見た竹の特徴.....	3
2.1.1. 伐出コストの面からみた竹の特徴.....	3
2.1.2. 再生可能資源としてみた竹資源の特徴.....	4
2.2. 利用可能な機材と特徴.....	5
2.2.1. 伐採用機材.....	5
2.2.2. 集材及び積込み用機材.....	6
2.2.3. 減容化のための機材.....	6
2.2.4. 搬出用機材.....	7
2.3. 本事業の基本方針.....	7
3. 効率的な竹林施業体系の構築：機材の改良.....	9
3.1. 従来の竹林整備と竹林整備用アタッチメントの基本要件.....	9
3.2. 竹林整備に利用可能な既往のアタッチメント.....	9
3.3. 改良の方針.....	11
3.4. バンブーカッター改良の概要.....	12
4. 効率的な竹林施業体系の構築：実証試験.....	16
4.1. 実証試験の目的と実証項目.....	16
4.2. 実証試験地の選定.....	17
4.3. 事前調査.....	19
4.4. 実証試験の方法.....	21
4.4.1. 実証試験の概要.....	21
4.4.2. 実証試験内容.....	21
4.5. 実証試験結果.....	24
4.5.1. 竹林整備作業.....	24
4.5.2. 乾燥重量推定のためのサンプル採取.....	29
4.5.3. 所要時間の分析.....	31
4.5.4. 伐採量の計測.....	33
4.6. 今回の実証実験結果と既往試験結果との比較.....	34
4.6.1. 比較対象となる既往試験結果.....	34

4.6.2.	既往試験との比較結果.....	35
4.6.3.	実証試験結果の評価	37
5.	低コストかつ効率的な施業体系の検討.....	38
5.1.	適用可能な立地条件.....	38
5.2.	低コストかつ効率的な施業体系の検討.....	38
6.	まとめ及び今後の課題	39
7.	企画・検討委員会の開催.....	40
7.1.	企画・検討委員会の概要	40

1. 事業の背景・目的

1.1. 事業の背景

戦後の燃料革命や経済発展に伴い、かつて人々の暮らしに欠かせなかった薪炭林や採草地が放棄され、田畑も農林産物の輸入拡大等により放棄され、竹林の多くは 1970 年代以降利用が減少して手入れが行き届かなくなった。このような全国的な山林の管理不足や耕作放棄地の増加は、放棄された竹林の分布拡大に拍車をかけており、地域資源の利用と生産の循環の崩壊という悪循環を招いている。

農地や地域の里山が本来の資源循環機能を持続的に発揮するためには、農林業に対する土地所有者の意向や地域住民のニーズなどを踏まえた地域資源（材）の需要拡大と、山村林の履歴・現況や将来の姿の効率的な分析・評価を基にした地域材の適切な利用と維持・管理が求められる。

きのこ、山菜、木炭等の特用林産物の産出額は、年間約 2 千億円と林業全体の産出額の約 5 割を占め、山村地域における貴重な収入源となっており、地域の活性化に重要な役割を果たしている。しかし、竹材については、バイオマス利用等の新たな利用拡大が見込まれる一方で、竹資源の分布状態や立地条件に関する情報が未整備であったり、伐採・搬出に係るコストが高かったりすることなどにより利用が進まず、竹林の荒廃が生じている。

本事業では、竹材の供給力の向上を図ることにより、未利用竹材の有効活用等に資することとする。



図 1.1 滋賀県の里山に拡大した竹林の状況



図 1.2 荒廃した竹林

1.2. 事業の目的

竹資源を有効かつ持続的に利用していくための管理・供給システム確立に向けたステップは、下記のように整理できる。

① 竹資源量の把握手法の確立

- 竹資源の分布状態の把握
- 立地条件別の類型化
- 立地条件別の地上部現存量の推定
- 利用可能な竹材資源量及び供給コストの推定及び類型化

② 効率的な竹資源の伐採搬出技術の開発

- 低コスト収穫・搬出技術の開発

③ 竹林の類型化と竹資源の持続的管理・供給システムの構築

平成 28 年度に実施された「平成 28 年度地域材利用拡大緊急対策事業のうち地域竹材の利用促進対策（竹材生産情報把握手法確立事業）」は、上記のうち、主として①の利用可能な竹資源量の把握手法の確立を目的として実施された。一方、「平成 29 年度特用林産振興総合対策事業のうち特用林産物の供給力の向上のうち効率的な竹林施業体系の構築」（以下「本事業」）は、主として②、③の課題に係る事業と位置づけられる。

これらの事業を連携して実施することにより、竹資源の効率的な施業体系の構築を目指し、本事業では①及び②の成果と既存情報、及び地理情報等より、自然要因、社会要因からみた竹林の類型化と利用可能性区分を行うとともに、再生量を推定し持続的管理・供給システムの構築に寄与する。

1.3. 事業概要

本事業全体の概要を図 1.3 に示した。

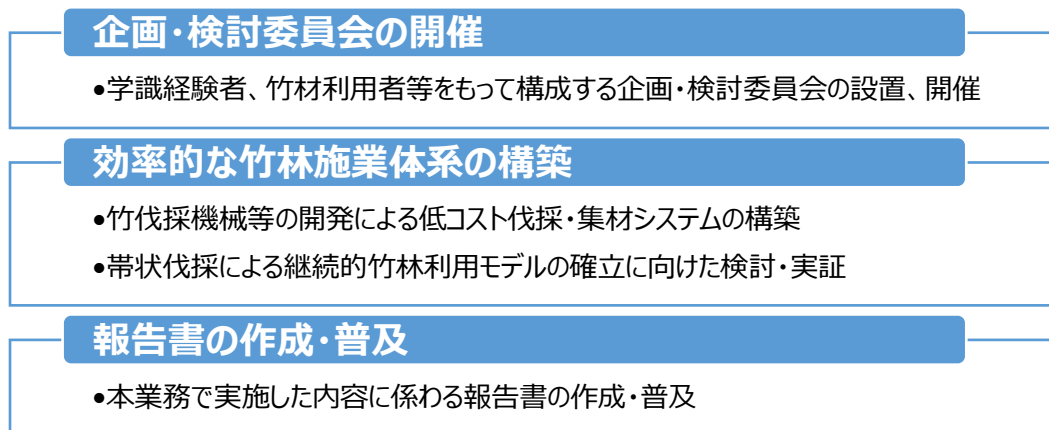


図 1.3 事業の概要

2. 基本方針の検討

基本方針の検討にあたって、伐採や搬出等の施業面からみた竹の特徴、竹を効率的に伐採・搬出するための既往の機材等について整理する。

2.1. 施業の面から見た竹の特徴

2.1.1. 伐出コストの面からみた竹の特徴

伐出コストの面からみた竹の特徴として下記のようなものが挙げられ、これらを考慮に入れた施業体系を検討する必要がある。

①軽量で本数が多い

竹はスギやヒノキなどの樹木に比べ細く軽量で林内の生育本数が多い。

フェラーバンチャー等の油圧ショベルに取り付けるアタッチメントは木材用であり、1回の動作で扱える本数は基本的に1本であるため作業効率が限定される。ただし、竹が密集している場合や、竹のしなりを利用して上部で複数本をまとめて掴むなど、竹の成立状況やオペレーションの工夫によって複数本を同時処理することは可能である。

近年、小径木のバイオマス集材に特化して、伐採木をアタッチメントに保持しながら新たに次の木を伐採でき、1回動作で複数本を処理できるアキュミレーティング型アタッチメントが開発されている。しかし、本方式の既存のアタッチメントは比較的大型であり竹林での利用可能性は未知数である。また、大型のベースマシンは軽量な竹に対してはオーバースペックでコスト高である。

②かさばる

竹稈は中空であり、稈のまま利用する場合を除いて、トラックへの積載・運搬の際の効率悪化の要因となる。また、稈がすべりやすく荷崩れしやすいという問題もある。竹の枝葉部分も容積が大きいため、竹材の積載・運搬前に枝払いを行うことが多いが、枝払い作業はナタなどを用い人力で行われており、伐採コストに占める割合が極めて大きいのが課題である。

また、減容のために林内に移動式チップパーを持ち込んでオンサイトでのチップ化が試みられている。枝葉に関しては減容化の効果が大きいですが、竹稈そのもののチップ化は枝葉に比べ時間がかかる一方で減容化にはあまり貢献しない。さらに、竹チップは発酵しやすく、製紙用チップのようにチップそのものを利用するのでなければ、低コスト化にあまり貢献しない。

③割れやすい

竹の利用は、稈をそのまま利用する「マテリアル利用」すなわち竹の素材利用と、「バイオマス利用」（燃料、飼料等）に大別できる。グラブなどの機械では、竹の稈を掴んだ際に割れてしまい、伐採される竹の材質はマテリアル利用には適さず、工芸等のマテリアル用途には、鋸やチェーンソーにより人力で伐採しなければならない。工芸用途等の付加価値の高い製品向けには、傷や割れない稈を現場で効率的に確保す

るための手法開発が必要である。一方、バイオマス利用では稈が割れても問題なく、機械化による効率化が期待できる。

2.1.2. 再生可能資源としてみた竹資源の特徴

竹を伐採した後、元の資源量に回復するまでの期間について、既往の研究事例はあまり多くない。いくつかの情報から伐採後元の資源量の回復期間は、

- 皆伐の場合： 20年以上
- 帯状伐採の場合： 10年以上

が目安だが、竹の再生力は地下茎の年齢で異なるといわれ、立地条件等でも大きくばらつくと考えられる。いずれにしても、皆伐された竹林は再生力が著しく低下するとみられる。

これらのことから、竹林を再生可能資源としてみた場合、皆伐ではなく帯状伐採などによって竹の再生力を維持しつつ利用することが重要である。

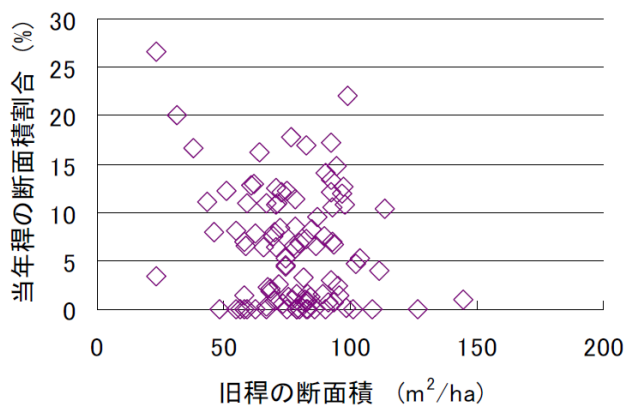


図 2.1 竹林内の当年度稈と旧稈の断面積の関係 (奥田 2010)

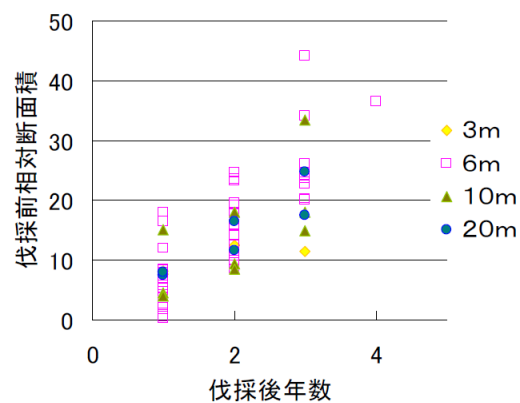


図 2.2 帯状伐採後の回復状況 (奥田 2010)

竹林において帯状伐採を行う際、竹特有の特性に起因した作業性が問題となる。すなわち、竹は樹木に比べると細く、またしなりがあって重心が偏っていること等から、伐倒方向の制御が困難であり、また「かかり竹」が発生しやすく、集材の支障になることが懸念される。このことから、皆伐の場合に比べると、帯状伐採の場合、人力伐倒では伐倒竹が帯外に倒れてしまうことを制御することが困難であり、集材効率を著しく低下させることが懸念される。

傾斜地においては、多くの竹が斜面下方に重心があり、一定の方向に伐倒でき、重力を利用して滑落させて一定の場所に集積させることも可能であるが、適切な帯状区を設定可能かという問題もある。

また機械により帯状伐採を行う際には、伐採や搬出用機材が入り込むための作業路開設が必要となる。作業路の作設にあたっては、整地の支障になり、その後の竹の再生により作業路が利用できなくなることから、残存する竹の根茎（根株）を除去する必要がある。

2.2. 利用可能な機材と特徴

竹は樹木と異なる特性があったが、これまでは人力による伐採が一般的であり、竹に特化した機械開発はあまり行われておらず、既往の木材用の機械が流用されている状況であった。

持続可能で生産性の高い竹の施業体系の構築にあたっては、竹に特化した機械開発が必要である。ここで、竹の生産（伐採、集材、玉切り、集積、搬出）に係る既往の機械の特徴について述べる。

2.2.1. 伐採用機材

竹の伐採に用いられる機械としては下記がある。

- ▶ **チェーンソー**：従来は、ナタや鋸による人力伐採であったが、現在はチェーンソーの利用が一般的である。竹の表面は硬いため、通常の木材用のソーチェーンでは刃が磨耗しやすく、チェーンソーの刃をはじきやすい。このため、木材用ソーチェーンより歯数を増やすことにより、硬い竹の表面への刃の食い付きを良くした竹用ソーチェーンが開発されているが、刃数が多いことによりかえってメンテナンス性が低下することから通常のもので用いられることが多い。

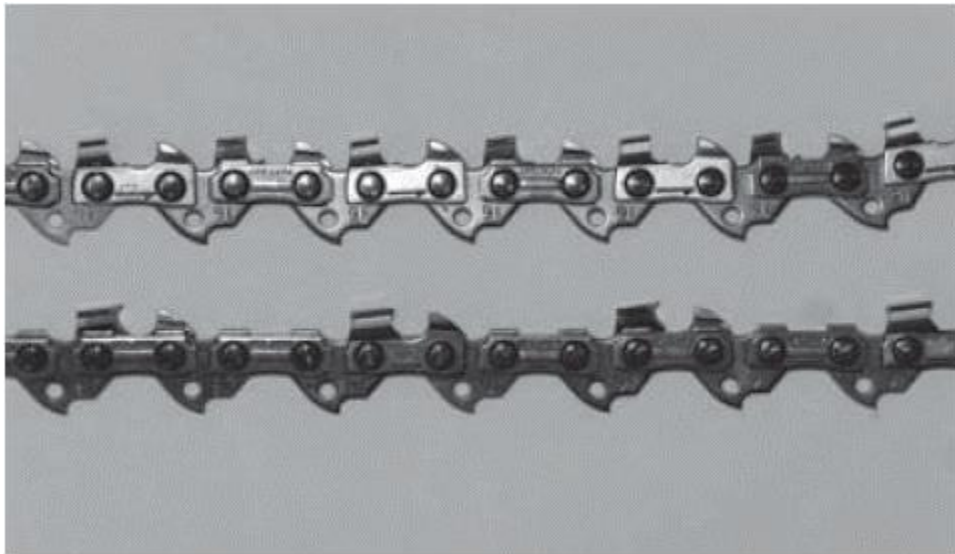


図 2.3 竹用ソーチェーン（上）と通常のソーチェーン（森林科学No.58、p20 より引用）

- ▶ **フェラーバンチャー**：グラップルにカッターを取付けたものがあり、単一のアタッチメントで伐採・集材・玉切り・搬出までの作業が可能である。既存製品では、「フェラーバンチャザウルスロボ」（松本システムエンジニアリング）、「バンブーカッター」（九州ナカミチ）がある。前者は、竹専用機械ではないが、グラップルの片側がバケットになっており、伐倒、玉切りのほか、路網作設も1台で行える。後者は竹専用開発されたアタッチメントであり、前者同様グラップル片側がバケットになっており根の掘り起こしなどが可能である。いずれも、ベースマシン（取付台車）には0.20～0.25m³クラスの油圧ショベルを利用する。



フェラーバンチャザウルスロボ（メーカーカタログより）

バンブーカッター

図 2.4 伐採用機材の例

2.2.2. 集材及び積込み用機材

- **グラップル**：積込み作業だけであれば、0.16～0.2m³クラスの小型のものが利用可能である。
- **ウインチ**：竹は1本の重量が軽い（50kg程度）ため、ポータブルウインチで数本をまとめて集材できる。ポリエチレン製ロープを使用することで、軽量かつ安全で作業効率を高めることも可能である。



グラップル（上村 2010）

ポータブルウインチ（伊藤ら 2009）

図 2.5 集材及び積込み機材の例

2.2.3. 減容化のための機材

- **割竹機**：稈を押し潰し減容化する機械である。押し潰すことで稈が滑り難くなり、荷崩れの発生が抑制されることが期待できる。「バンブーブレーカー」（九州ナカミチ）は一度に複数本処理でき作業効率が高い。伐材をこれらの機械に枝葉がついたまま投入できれば、枝払いの手間が軽減され大幅なコスト低減を期待できる。

- **チップパー**：伐採した稈や枝葉をチップ化する機械である。移動式と据置き式があり破碎方式や処理能力も様々だが、竹材は硬質なためチップパーの刃を痛めやすい。
- **バンドリングマシン**：竹の枝葉をまとめロープで結束し減容化する機材である。自走式及び車載型がある。「バンドラー」（中外テクノス）など。

2.2.4. 搬出用機材

- **林内作業車（フォワーダ）**：伐採した竹の稈を積込み運搬する機材である。グラップル付き、荷台が脱着できるものなどがある。竹稈はすべりやすいので、荷崩れに注意が必要である。



バンブーブレーカー（福岡県資料）



林内作業車（伊藤ら 2009）

図 2.6 減容化及び搬出のための機材の例

2.3. 本事業の基本方針

本事業は、竹資源を持続的に利用しつつ効率的な施業を行うシステムづくりを念頭においている。人工林等への侵入竹や管理放棄された竹の駆除とは異なり、竹林を「再生可能な資源」と位置づけて効率的な利用を図ることが本事業の特徴である。

効率化を進める大きな要素として作業の機械化が必要であるが、高性能林業機械等を導入した大規模集約的な施業は高稼働率を前提としており初期投資が大きい。また竹林は、広い範囲で面的にまとまって分布することは稀で狭い範囲に点在するという分布の特徴があり、この観点からも大規模集約的な施業は竹林の効率的整備のためには現実的ではない。

竹林整備では、これまで主に既存の機材の組み合わせによって機械化と効率化がなされてきた。汎用性のある機材が求められているものの、専用機材の開発コストなどから未だこのような機材はほとんど存在しない。

以上を踏まえ、本事業では「既存機材の簡易で低コストな改良」と「効率的な竹林施業体系」を組み合わせることで「竹資源の持続的利用と効率的な施業システム」構築を検討の基本方針とした。そのため、機材面では既存の機材の改良によって効率化と導入障壁の低減を目標とし、竹林の再生力維持と帯状伐採を念頭に置いた機材の運用と前年度成果を利用した施業システムの効率化を検討した。

本事業における施業体系の構築に係る内容は下記の3つに分けられる。

①機材の改良と作業仕組みの検討

竹林整備作業は、大きく伐採、集材、玉切り、集積、搬出に分けられる。本事業においては、竹林内の作業である伐採、集材、玉切りのプロセスの効率化に主眼を置いた機械改良を検討する。機械による带状伐採を検討する場合、実務的には効率的に伐区と作業スペースを確保するための作業路作設が必要になる。したがって、機材の改良にあたっては、これらのことを考慮に入れたグラップルアタッチメントの改良を行うことを基本方針とし、この改良機材を実地で試験運用して既往の試験と比較する。試験運用において、従来の人力を主とする方法との違いを整理する。

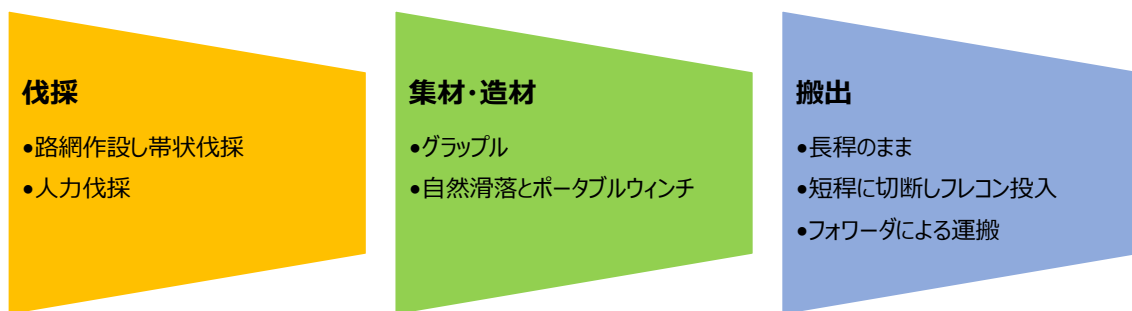


図 2.7 竹林整備作業の主な工程

②実証試験

①で検討した改良した機材を用いて試験的に竹林整備作業を行い、各工程の実態や所要時間を調査し、効率を比較するために処理されたバイオマス量を推定する。なお、試験地選定においては、竹林のバイオマス利用について実証実験を行ってきた山口県にご協力いただいた。

③システムの評価

実証試験の結果を踏まえ、効率的な竹林施業体系の検討に必要な評価を行う。平成 28 年度事業で作成した竹林マップを用い、持続可能性を考慮した竹林施業が行われた場合の効率性に関する評価を行う。

3. 効率的な竹林施業体系の構築：機材の改良

3.1. 従来の竹林整備と竹林整備用アタッチメントの基本要件

「2.1 施業の面から見た竹の特徴」と「2.2 利用可能な機材と特徴」に基づいて竹林整備用機材の基本要件を検討した。その結果、「2.3 本事業の基本方針」において、基本方針を伐採、集材、玉切りのプロセスの効率化に着目し、帯状伐採の実務を考慮した路網作設機能を併せ持つグラップルアタッチメントの改良とした。

従来の竹林整備では、複数の機材を現場に投入する必要があったり、フォワーダを待たせたり、各工程の間に遊び時間が発生したりするなど、無駄が生じやすい面があった。

林業同様、竹林整備においても伐採、材の引出し、玉切り、集材、積込みなどを汎用的にこなせる機械が効率化に適している。これらの作業には切断と把握機能が備わったアタッチメントが必要であり、伐採や玉切りを単一の機械で実施できるグラップルソーに類似したものが望ましい。これに加え、帯状伐採を考慮した場合、作業道開設に伴う根茎の切断除去も視野に入れる必要があり、根茎を切断除去できるバケットも必要になる。

竹林は林内の本数密度が高いため、一度に複数本を扱える開口幅の広いグラップルを備えたアタッチメントを採用することで単位時間当たりの効率化が可能である。竹は木材に比べて細くすべりやすいため、選定するグラップルは小径木でも把握できる必要がある。また、込み入った竹林内での作業するため、グラップル部分が自由に回転でき小回りの効くものが望ましい。

このような複数の機能を単一の機械で有するグラップルアタッチメントを竹林整備に利用することで、作業を効率化できると考えた。

また、この竹林整備用の汎用アタッチメントを装着するベースマシンは大型ではなく中型・小型で比較的軽量のもので望ましく、より軽量のベースマシンは竹の再生力維持の点でも重要である。一方、複数の機能を併せ持つグラップルアタッチメントは重くなりやすく、また軽量であるとはいえ複数の竹をつかむこともあり、小型のベースマシンではバランスを崩しやすく危険であるため、ベースマシンの選択にあたってはこれらのトレードオフに留意する必要がある。

本事業では、既往の中・小型ベースマシンに搭載可能な多機能アタッチメントを改良し、上記機能を備えた竹林整備用アタッチメントを開発することとした。

3.2. 竹林整備に利用可能な既往のアタッチメント

既往の機材のうち、次の特徴を備えたアタッチメントの条件としては、

- 既存の油圧ショベルに装備可能であること
- カッターを装備していること
- バケットを装備していること
- 回転グラップルであること

が条件となる。この条件に合致する既存のアタッチメントとしては、「バンブーカッター」（九州ナカミチ株式会社製、以下バンブーカッター）と「フェラーバンチャザウルスロボ」（松本エンジニアリング株式会社製、以下ザウルスロボ）の特徴について整理した（表 3.1）。表 3.1 において重量がほぼ同じ「BC-25」と「MSE-25FGZX」を比較した結果、大きく異なっているのはグラップルの開口幅とバケット可動の可否であった。

①バンブーカッター

- 国内唯一の竹専用開発されたアタッチメントである
- グラップルの支点が2箇所に分かれており開口幅が広い
- グラップルの両方のトングが可動式である
- グラップルの片方が細身のバケットになっている
- オプションで油圧式チェーンソーが利用できる
- 回転グラップルである

②ザウルスロボ

- 竹専用ではないが、竹をつかみカッターで伐採できるアタッチメントである
- グラップルの支点は1箇所である
- グラップルの可動するトングは片方だけである
- グラップルの片方が通常サイズのバケットになっている
- グラップルのバケット側は固定式である
- 回転グラップルである

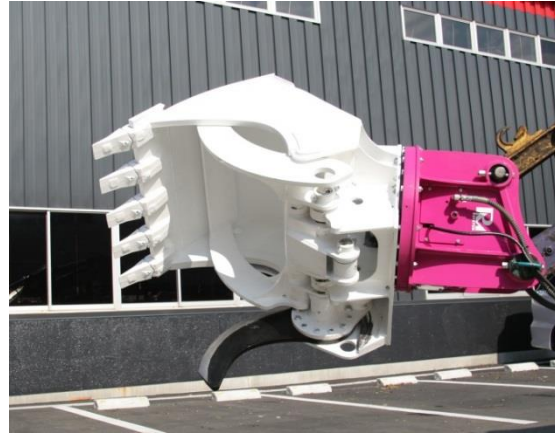
表 3.1 竹林整備に利用可能な既存のアタッチメントの比較

		機種名称			
		バンブーカッター		ザウルスロボ	
		BC-25	BC-20	MSE-25 FGZX	MSE-15 FGZX
グラップル	開口幅	1480mm	1300mm	878mm	742mm
カッター		有	有	有	有
バケット		有 (可動式)	有 (可動式)	有 (固定式)	有 (固定式)
油圧チェーンソー (オプション)		有	有	なし	なし
総重量		700kg	400kg	740kg	535kg
ベースマシン (油圧ショベル)		7t 以上	4t～6t	6.0t～9.0t	5.0t～5.8t

※ 2社のカタログ等より作成。諸元の厳密な定義が不明確なため大まかな比較である。



バンブーカッターBC-25型



ザウルスロボ

松本エンジニアリング（株）サイトより引用

図 3.1 既存のバンブーカッターとザウルスロボ

3.3. 改良の方針

3.1 で論じた基本要件と 3.2 の結果から、竹林整備に利用可能な既往のアタッチメントとしてバンブーカッターを選定し、これに改良を加えることで竹林整備作業の低コスト化と効率化を図ることとした。バンブーカッターを選定した理由としては、3.2 に示した基本要件を満たしていることに加え、以下の点を評価した。

- 開口幅が広く、細い竹から太い複数本の竹まで処理可能な汎用性の高いグラップルであること
- グラップルの幅がザウルスロボよりも狭く、回転の自由度がより高いため、込み入った林内でも小回りがきく作業性の高さが期待されること
- （とくに BC-20 型は）ザウルスロボより小型・軽量であること
- 油圧チェーンソーが装着可能で、林内の倒木等の除去に効果が期待できること

一方、課題としては、これまでの運用状況や委員へのヒアリング等も踏まえて以下の点が挙げられる。

- カッターの形状は様々な太さの竹や複数本の竹の処理面から見て妥当か
- 根茎掘削機能を持ったグラップルトング刃先は掘削のための補強がなされていないため本格的な路網作設を行った場合の強度はどうか

バンブーカッターは複数のタイプが開発されており、間引き作業が主用途である BC-15 を除くと、BC-20 と BC-25 が改良対象の候補となった。この 2 つはアタッチメントの大きさと重量が主な違いであったため、より小型である BC-20 を基本とし、機能的には BC-25 と同等以上を目標に改良することとした。

3.4. バンブーカッター改良の概要

BC-20 を基本とし BC-25 と同等以上の性能確保と機能向上を目標に改良を行った。

小型化、軽量化について、より小型の BC-20 を基本とすることで達成したほか、カッター形状を変更し、グラップル部のバケットにも改良を加えた。

改良型 BC-25s の特徴

- 小型、軽量なアタッチメントを採用した
- カッター形状を直刃から鎌形に変更し、刃の厚みを増やした
- グラップル部のバケットトングに根茎切断用の爪を 2 本追加し、補強を行った
- チェーンソーを標準装備とした
- カッターの出力を向上させた

表 3.2 バンブーカッターの比較と改良点

		BC-20	BC-25	改良型 BC-25s	改良の要点
全高		1030mm	1330mm	1150mm	小型化
総重量		400kg	700kg	650kg	軽量化
可動式グラップル	開口幅	1300mm	1480mm	1350mm	
	幅	900mm	950mm	950mm	
油圧カッター	形状	直刃	直刃	鎌形刃	機能強化
	長さ	500mm	630mm	600mm	
バケット爪		無	無	有 (2 個)	機能強化
油圧チェーンソー	長さ	500mm (オプション)	600mm (オプション)	600mm (標準装備)	機能強化
ベースマシン (油圧ショベル)		4~6t	7t	7t	



改良前 BC-25



改良型 BC-25s

図 3.2 竹林整備用アタッチメント、改良前後の比較 (概観)

掘削機能を有したグラップルトングの改良については以下のように実施した。通常、根などの掘削においては、トング先端に爪をつけて強度を確保したリッパーあるいはリッパーバケットを用いる。今回は竹の根株を掘り起こす機能が必要であるため、リッパーバケットに類似した改良として、グラップルトングに2本の爪を加えて掘削に耐える強度を確保した。



図 3.3 根茎処理効率化のためバケットに追加された2個の刃



図 3.4 改良型 BC-25s の特徴

カッターの改良にあたっては、旧来型のものが直刃上であり、竹が細い場合や上部稈を伐採する際、竹のしなりにより逃げやすい欠点について、鎌型形状に変更することにより改良を目指した。カッターの厚みや寸法は旧来型と同じであるが、根元部分は 110mm から 130mm とし、太い竹の重みに耐えるよう強化されている。

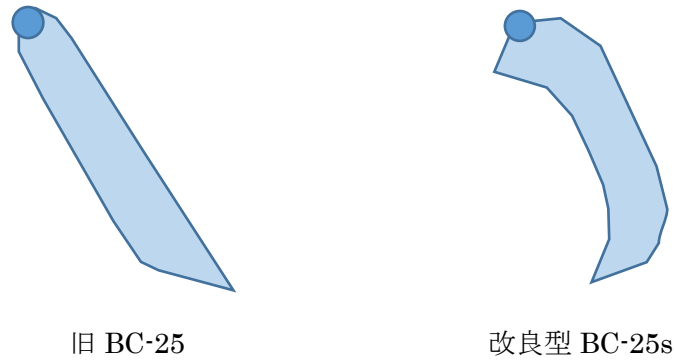


図 3.5 カッター形状の変更



図 3.6 改良後のカッター形状

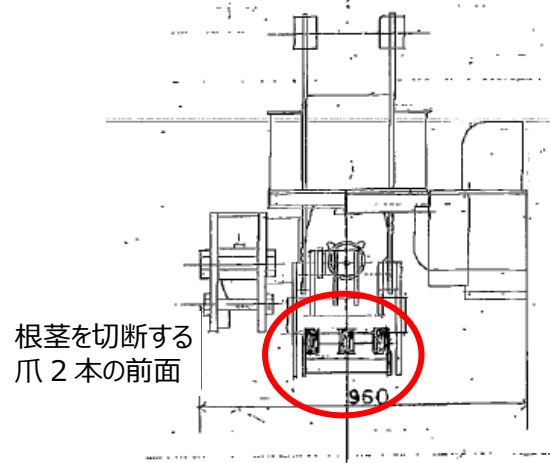
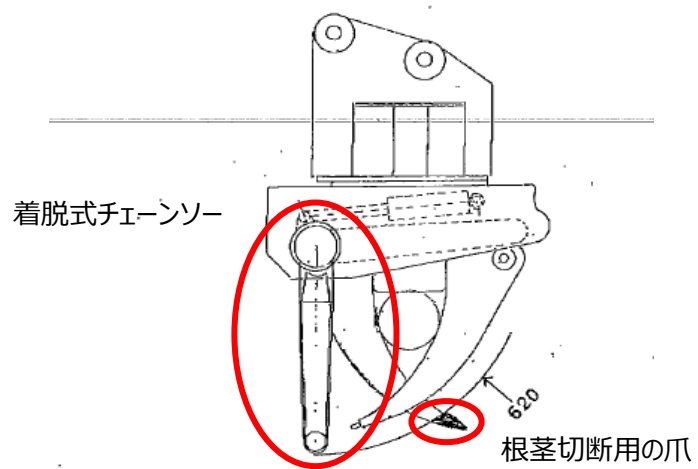
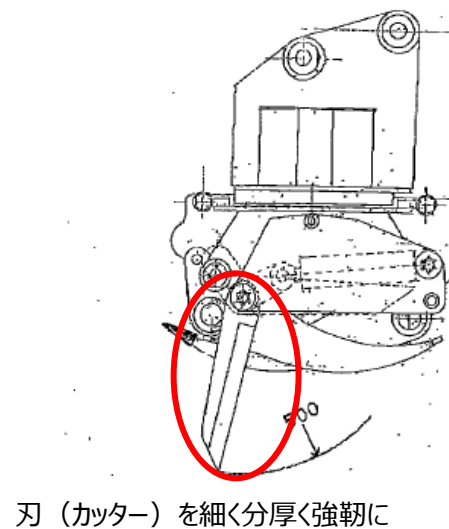
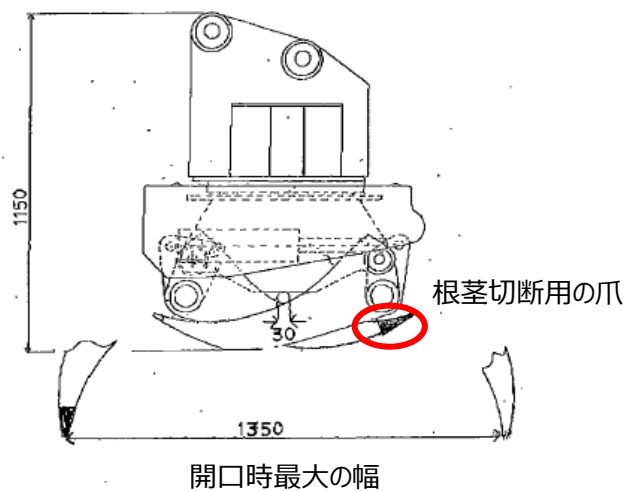


図 3.7 BC-25s 概要図①

図 3.8 BC-25s 概要図②

4. 効率的な竹林施業体系の構築：実証試験

4.1. 実証試験の目的と実証項目

新規開発したバンブーカッターBC-25s（以下、BC-25s）を用いた竹林施業体系について、以下を目的として実証試験を行った。

1. 既存事例との比較による BC-25s の機能評価
2. 伐出機能の作業効率（m/h）の計測
3. 機器の使い勝手や安全性についての情報整理
4. 列状間伐のコストの検討

新規開発した BC-25s は単一の機材で竹林内作業のうち、伐採、集材、玉切り、集積、搬出とほぼ全ての工程をまかなうことが可能である。具体的には、広開口グラップルとカッターを用いた複数本の同時伐採、カッターとチェーンソーによる玉切り、グラップルによる積込み、バケットの爪による根茎切断、路網開設や作業スペースの作設も行えることから、竹林整備作業の時間短縮や費用削減に資することが期待される。

このことから、伐採、玉切り等の個々の作業を取り出してそれぞれ効率化を評価するのではなく、作業システム全体として評価することが重要である。このため、10m×10m の方形プロットを1つの作業ユニットとして設定し、作業ユニットにおける効率的な施業システムについて分析することとした。

以上を踏まえた、具体的な実証項目を表 4.1 に示す。

表 4.1 実証項目

項目	方法・備考
稈の伐採効率 玉切り効率	録画データと乾燥重量サンプルを用いて、時間あたりの処理重量（wet-t/h）や面積当たり処理本数（本/a）等で評価する。定量的に評価された既存データはないが、単純なマシンスペックとしては、平地における伐採で1時間当たり200本の処理が可能とされている。
根茎除去及び路網開設効率	時間当たりの路網開設距離（m/h）により定量化する。
持続的利用体系	バイオマス利用等のため、竹林の分布と傾斜等の関係を考察する。

4.2. 実証試験地の選定

実証の目的や機材の使用条件等を考慮し、試験地の選定条件を表 4.2 の通りに設定した。

表 4.2 実証試験地として望ましい条件

項目	備考
モウソウチクの純林であること	持続可能な利用の観点から侵入竹林は対象としていない
稈密度が 10,000 本/ha 程度であること	
傾斜が 15 度以下であること	
ベースマシンが搬入可能であること	ベースマシンは 7t 油圧ショベルを使用するため搬入路の幅員 2.5m 以上必要
幅 10m の作業スペースを 3 か所設定可	路網作設幅 3m と左右振り 3.5m ずつの合計
未舗装林道に隣接	キャタピラの保護を考慮

実際の実証試験地選定にあたっては、山口県より協力を得て上記の条件に適合する 3 つの候補地を踏査し比較して行った（図 4.1 実証試験の候補地）。

比較の結果、山口県宇部市東吉部上ヶ原のモウソウチク林であり、北向きで傾斜 25 度程度の緩やかな斜面に位置する候補地 2 の竹林を実証試験地として選定した（図 4.5）。本竹林は森林経営計画の対象竹林である。

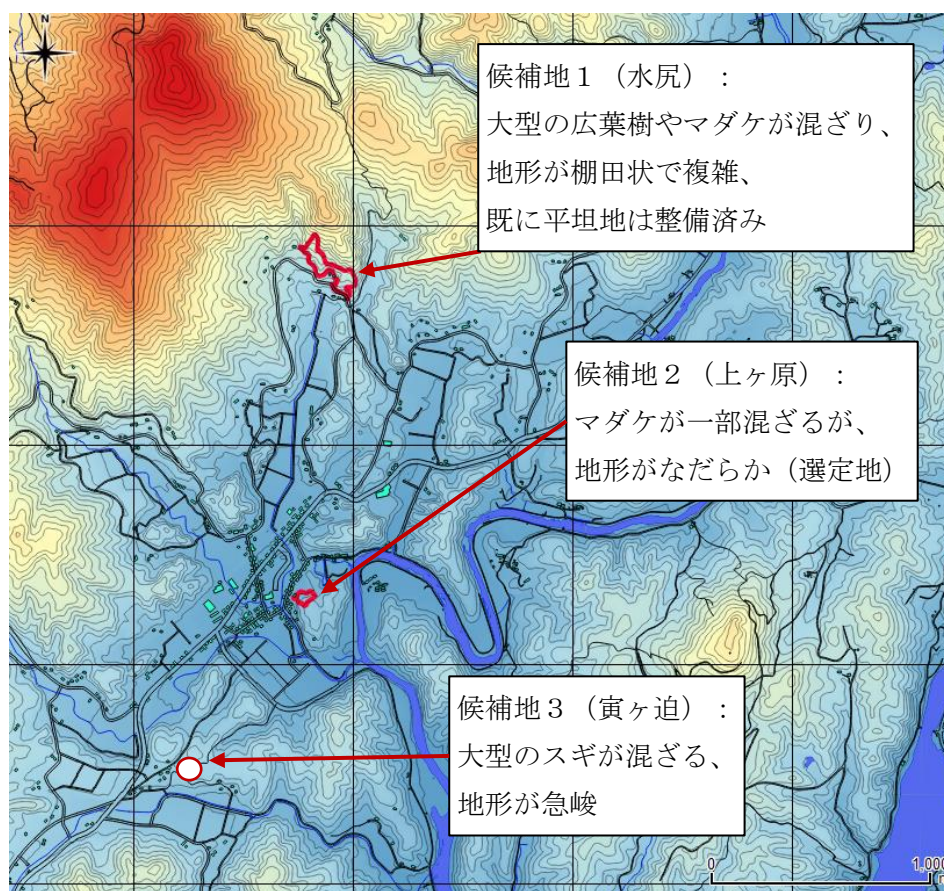


図 4.1 実証試験の候補地



図 4.2 候補地 1 の林況 (急傾斜)



図 4.3 候補地 3 の林況

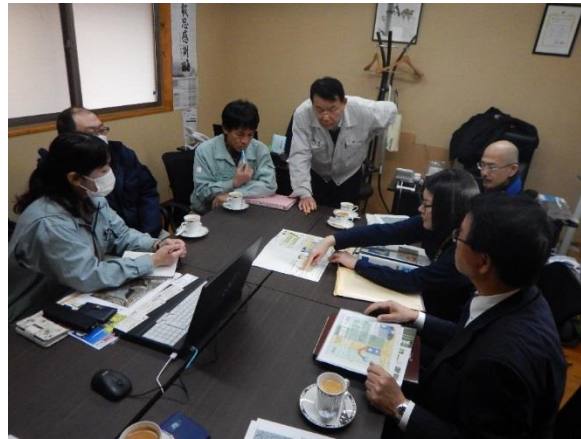


図 4.4 試験地選定のための現地打合せ (平成 30 年 2 月 16 日、三輝トラスト(株)事務所)

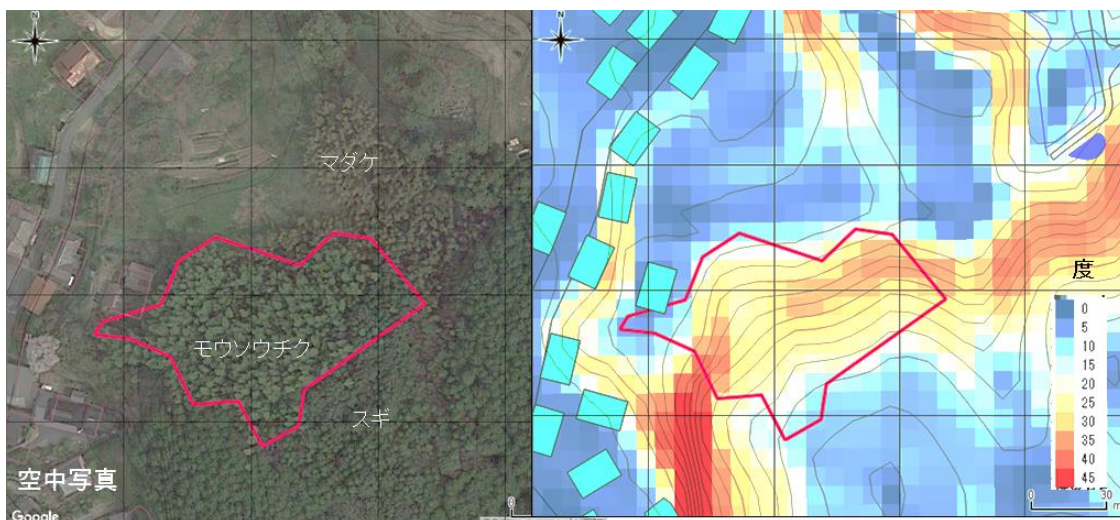


図 4.5 選定した実証試験地 (候補地 2)

4.3. 事前調査

4.1 に記載したように、実証試験においては作業ユニットにおける効率を調査することとした。作業ユニットの概念図は図 4.6 の通りである。

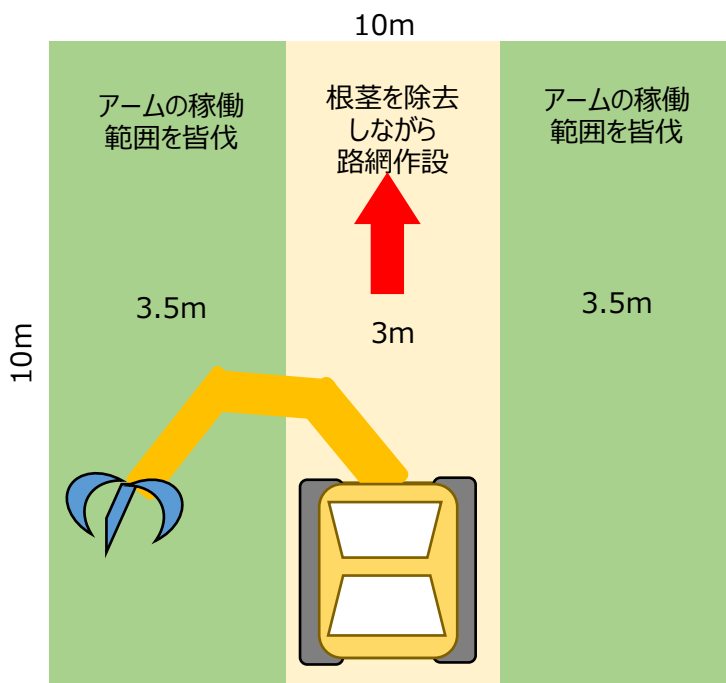


図 4.6 作業ユニットの概念図（1 作業ユニット）

油圧ショベルのアームの稼働範囲は左右に 3.5m あり、油圧ショベル本体の移動スペースとして 3m の幅が必要である。このため、作業ユニットを 10×10m の方形プロットとし、これを 1 つのユニットとして評価することとした。この方形プロットを列状に配置することで帯状伐採を想定することができる。

この作業ユニットの概念に沿って、平成 30 年 2 月 16 日及び 17 日に、伐採地におけるモウソウチクの現況調査を実施した。調査では稈の本数を調べるとともに、それぞれの胸高直径、新・古・枯の区分、群落高を記録した。プロットは A～D の 4 つを設定したが、D は予備のプロットとし、実証試験は A～C の 3 つのプロットを用いることとした。

表 4.3 事前調査結果

作業ユニット	本数	平均胸高直径	平均樹高
プロット A	60 本	11.4cm	16.3m
プロット B	71 本	12.2cm	15.1m
プロット C	62 本	13.4cm	17.2m
プロット D	86 本	11.3cm	15.5m

これらの作業ユニットはほぼ等高線に沿って設定した。区画はあらかじめ標識テープと地表へのスプレーマーキングによって区分し、実際に伐採作業を行うオペレータから見えるよう示した。設置した作業ユニットの配置を図 4.7 に示す。実際には、A～C のプロット配置が湾曲しているため、プロット B の

形状が正方形ではないが、面積はほぼ同様になるよう配置した。また、作業前後の状況や材積（推定値）の比較ができるよう、林内の全天空写真を撮影した。

なお、乾重量や樹高といった諸元については試験地のモウソウチクをサンプルとして調査した値を用いることとした。

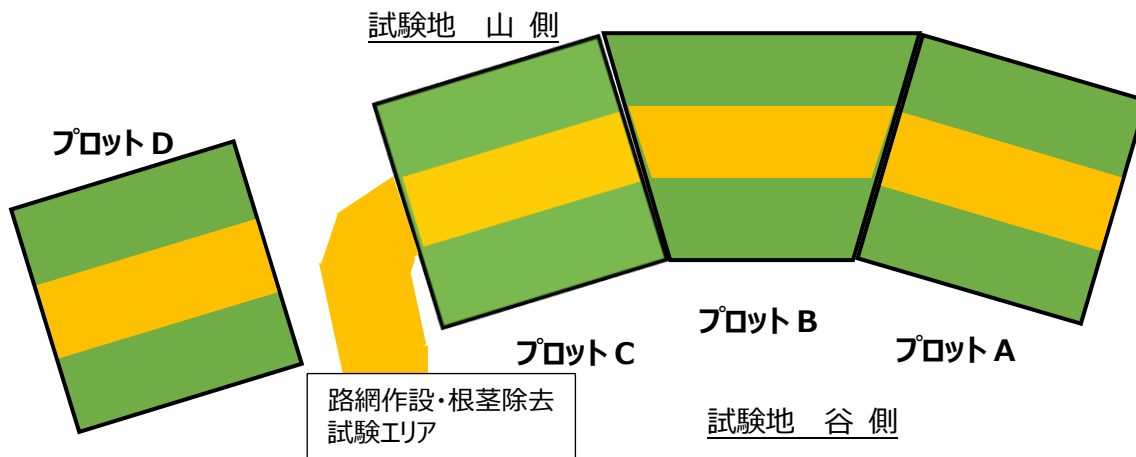


図 4.7 作業ユニットの配置概念図（4ユニット）

4.4. 実証試験の方法

4.4.1. 実証試験の概要

①場所と日程

平成30年2月26日（月）、27日（火）に実証試験を実施した。

場所：山口県宇部市東吉部上ヶ原地内

内容：BC-25sを用いた竹林整備試験（伐採、玉切り、集材、根茎除去と路網開設）

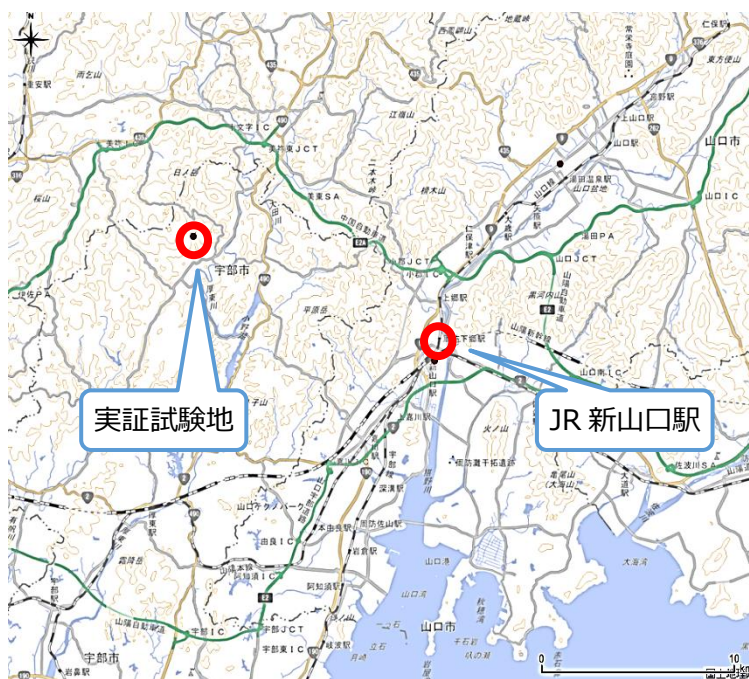


図 4.8 実証試験地概略図

また当日は、企画・検討委員（上村、佐々木、藤原、敬称略）、山口県森林企画課、山口県農林総合技術センター林業技術部、協力事業体として、九州ナカミチ株式会社及び三輝トラスト株式会社のお力添えをいただいた。

4.4.2. 実証試験内容

実証試験では、改良した機材を用いた試験的な竹林整備作業とバイオマス量推定のためのサンプル採取を実施した。

①実証試験プロット

バイオマス量と作業効率を評価するため作業ユニットや作業土場の配置は図 4.9 に示すとおりである。実証試験は、プロット A～C までの 3 つの作業ユニットについて行った。D は予備のプロットである。実証試験の記録にあたり、三輝トラスト株式会社に依頼して、事前に入り口からベースマシンが走行可能な 3m の作業路の整理（竹の伐採、除去等）を行い、土場 S（伐採した竹の集積、撮影等の記録を行う場所）に生育している竹の除去を行った。

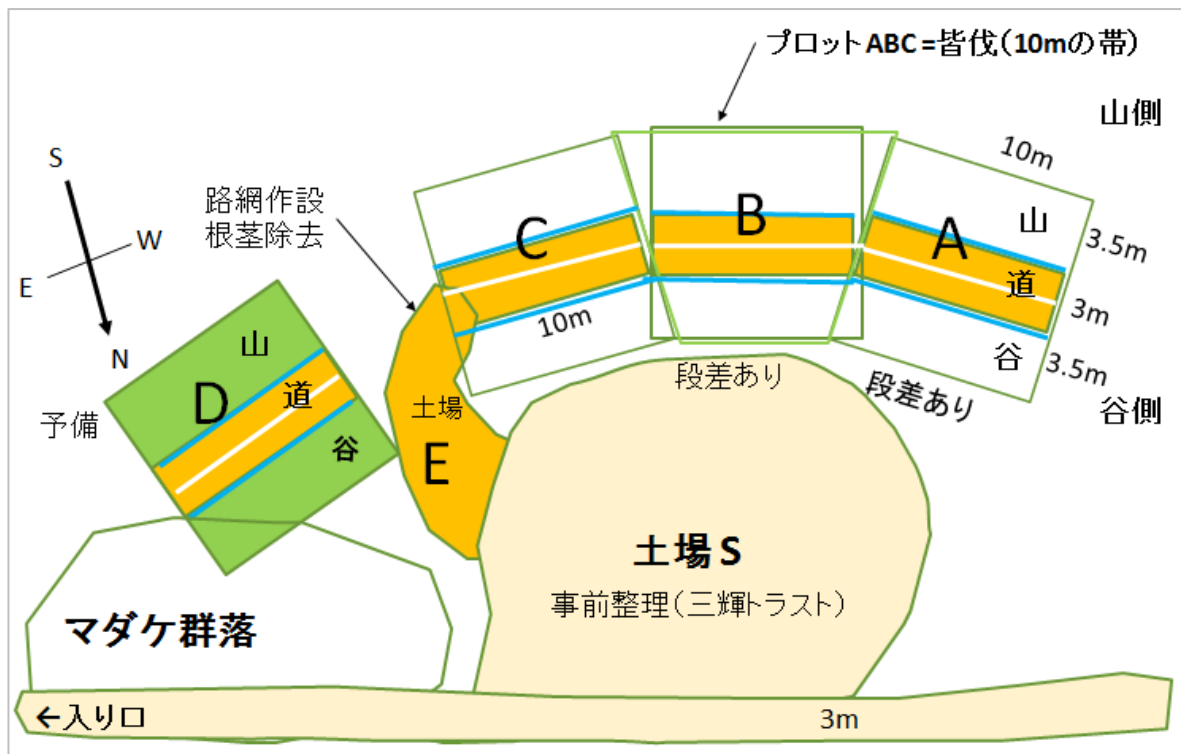


図 4.9 設定したプロット

②使用機材

ベースマシンに住友建機製油圧ショベル（ロングアーム仕様、排土板付、足回りはゴム装着クローラ）を用いた。この機種は後方小旋回が特徴であり、狭く込み入った竹林整備に適しており、ゴム製クローラを利用することで林床に配慮した。このベースマシンに、改良した竹林整備用アタッチメントである BC-25s を装備して作業を行った。

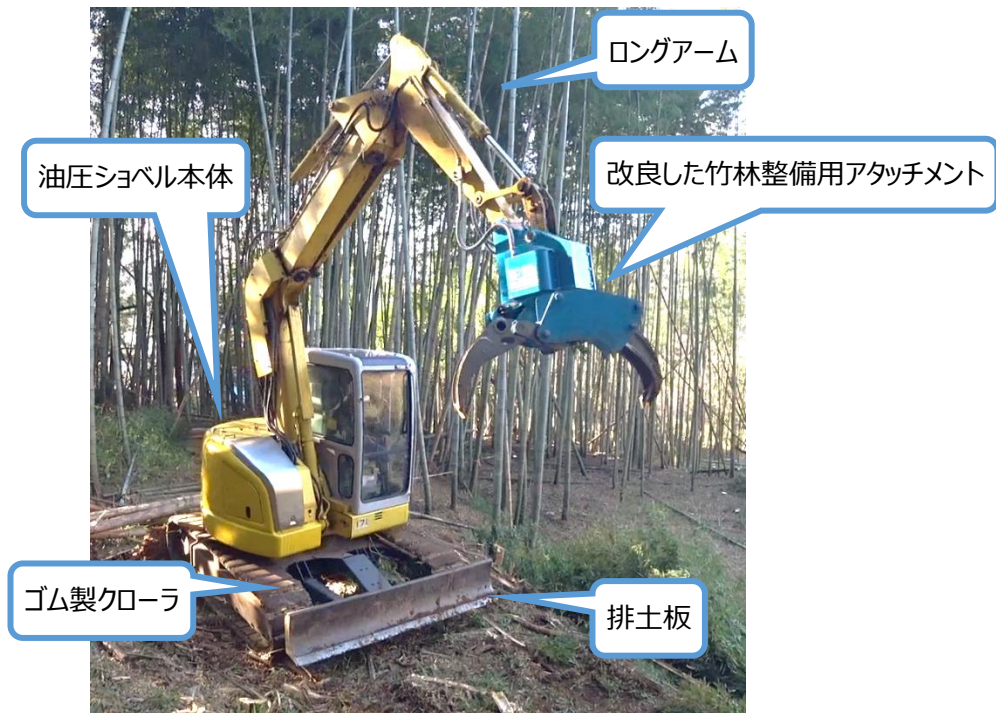


図 4.10 実証機材全景



図 4.11 ベースマシンに取付けられた排土板とゴム装着クローラ（拡大図）

③竹林整備作業

ベースマシンを竹林内まで移動させ、まず土場 S からプロット C まで至る部分の竹の除去、路網作設を行い、土場 E を確保した。基本的に伐採した竹はこの土場 E に集積することとした。その後、プロット C→プロット B→プロット A の順に作業を進めた。

実証試験で評価する竹林整備作業として、伐採、集材、玉切り、集積、路網開設、倒木除去、根茎除去、整地、搬出作業を実施した。作業中は適宜動画と写真を撮影し所要時間を記録した。

④バイオマス量推定のためのサンプル採取

バイオマス量推定のため、試験地に生育する若い竹、古い竹からそれぞれ 3 本を選びサンプルを採取した。サンプルは稈の上、中、下部からそれぞれ採取し、生重量、乾燥重量、含水率について、山口県農林総合技術センターに分析いただいた。

4.5. 実証試験結果

4.5.1. 竹林整備作業

竹の伐採作業は、伐採、集材、玉切りの3つの手順に分けることが可能であるが、今回の実証実験では単一のアタッチメントによってこれらの作業をそれぞれ別個に行っているわけではなく、実際には作業効率から各作業は明確に分離されず、個々の作業は下の表のようにオーバーラップした一連の作業として実施されていることが分かった。

なお、試験地は伐採地と公道が離れており、玉切りした竹材を軽トラックで公道近くまで運搬し、さらに軽トラックから4tトラックへの積替えが必要であった。このため、今回は改良アタッチメントによる搬出作業の評価は実施せず、伐採、集材、玉切りの作業に絞って解析を行うこととする。

表 4.4 竹林整備作業の流れ（概念図）

時間の経過						
作業内容	1 作業ユニット					次の作業ユニット
伐採						
集材						
玉切り						
集積						
(積込み)						
(搬出)						
路網開設						
倒木除去						
根茎除去						
整地						

以下にそれぞれの作業工程の状況を示す。

①伐採

伐採時は、まずアームを伸ばして地際（ないし稈上部）でグラップルにより竹を挟み込み保持し、この状態のままカッターで根元を切断する。切断の後、グラップルで把握した竹をそのまま保持したまま引寄せ、林内の空きスペース（基本的には機械後方に設置した土場）に仮置きする。このため伐採作業は、竹の把握、伐採、集材（引出し）の一連の作業となり、作業工程として明確な区別はない。このような作業手順はアタッチメントの多機能性を活かした合理的なものと言える。

グラップルは、全体が回転可能であるため、竹と竹の間が狭く密な竹林でも柔軟に運用できるのが特徴である。

また改良アタッチメントで標準装備となったチェーンソーにより、竹林に混在するスギなどの樹木を伐採することも可能であった。伐採した竹の多くはかかり竹となるものの、グラップルの回転操作でうまく機械後方に引き寄せできていた。

伐採及び集材、玉切りの過程でほぼすべての竹に割れが入るため、用途によっては不適となるが、割れが入ることで積載・搬出時の減容化、滑落防止に多少寄与できる可能性がある。

減容化にはチップ化と割材する方法がある。チップ化は発酵するため、製紙用チップのようにチップ化が目的でなければ、低コスト化に有効ではない。そのため運搬効率を高めて低コスト化するには割材による減容化が適していると思われる。



図 4.12 伐採作業

②集材

集材作業は、伐採作業からの一連の作業となることが多い。伐採時に把握した竹をそのままの本数で掴み直すことなく、密生する竹林内から引き出せることがわかった。またグラップルとアームの動力は、密生した竹林でもかかり竹を発生させることなく伐採竹を引き出すことができることもわかった。

伐採と集材の一連の作業においては、適宜伐採竹を引出し仮置きできる作業スペースを確保することが円滑な作業をする上で重要であると思われる。



グラップルを使って竹材を林内から引出す



竹材をまとめて運搬する

図 4.13 集材作業

③玉切り

玉切り作業は、竹材を林内から引出した仮置きスペースで行われることが多い。玉切りと同時に集積作業もあわせて行われ、効率化のためには作業スペースの広さと配置が重要である。

グラップルで最大8本程度の竹を一度に掴んでカッターで玉切りできることがわかった。ただしあまり多くの竹を一度につかんだ場合、カッターの出力が足りず、一度で伐採しきれない場合もあった。実務上は4本程度を同時につかんで玉切りするのが現実的である。なお、集材、玉切り作業の際、グラップルで把握した竹材が割れることが多い。

カッターの刃を厚く変更したことで竹を確実に切断できるようになった。カッターで玉切りした場合、切断面はチェーンソーより若干荒くなるが、バイオマス利用においては問題ない程度であった。



図 4.14 玉切り作業



図 4.15 BC-25s で玉伐りした竹の切断面

④集積

集積作業は玉切り作業と同時に行われる。油圧ショベルのアームが届く範囲に作業スペースが確保できない場合、油圧ショベルの移動が必要である。油圧ショベルは、安全のため伐採・集材作業時に排土板を下ろして作業するが、作業スペースが確保できず移動が必要な際は仮置きした竹を玉切り集積のできる作業スペースまで運び直さねばならない。この場合、排土板の昇降と移動の時間が発生することになる。

集積作業時にはグラップルの回転を利用し、搬出しやすいよう竹材の端をそろえることができる。



図 4.16 集積作業

⑤路網開設

整備作業においては対象地にアクセスするための作業道が必要になるため、まず伐採、集材しつつ作業道を開設しなければならない。作業道開設作業は伐採開始後、油圧ショベルを前進させつつ行われる。

作業道を開設するには地中の根茎切断が必要になり、作業の効率化のため、アタッチメントのグラップル部分にあるバケットに 2 つの爪を追加した。竹林整備作業を実施する場所の地形が平坦であることは稀で、今回の試験地も平均傾斜が 25 度以上ありプロット内に段差もみられた。

使用したアタッチメントはグラップル部にバケットが装備されているため、傾斜地における作業道開設で発生する斜面や段差の整地作業を効率よく行えることがわかった。



図 4.17 路網開設作業

⑥根茎除去

根茎の除去作業は路網開設作業と同時に行われることを想定している。グラップル部分にあるバケットの 2 つの爪を使用して根茎を切断し、根茎の両側を掘って根切りした後、グラップルで根茎をつかみ掘り出して除去する作業である。試験作業では、作業道上の障害となる伐根をひとつひとつ掘り起こすことができた。

平均 32 秒±10 秒程度で根茎を切断し掘り出すことができた。BC-25s のバケット幅は狭いが、今回の改良で爪を 2 本追加したため作業時間が短縮され、結果として短時間で広い面積を処理することができた。バケットと爪の強度は十分であり、ベースマシンが持ち上がる程の力が加わっても破損することはない。



バケットの爪で根茎を切断



根茎の掘り出し

図 4.18 根茎除去作業

⑦倒木除去

竹林の林床には枯れた竹や樹木が倒伏していることがある。グラップルでの作業に特に問題はなく、枯竹などを一本ずつ掴んで移動することも可能であった。



倒木除去



枯れ木の除去

図 4.19 倒木除去作業

⑧整地

作業道開設と倒木除去にあわせて行う。



図 4.20 整地作業

4.5.2. 乾燥重量推定のためのサンプル採取

バイオマス量推定のため、試験地に生育する若い竹、古い竹からそれぞれ3本を選んでサンプルを採取した。サンプルは稈の上、中、下部から採取し、それぞれ生重量、乾燥重量、含水率について山口県農林総合技術センターに測定、分析を実施いただいた。

サンプルの計測、分析結果は表 4.5 及び図 4.21 に示すとおりである。含水率は、古い稈のほうが新稈に比べて低くなっており、古い稈の平均 38.1%、新しい稈の平均 45.3%であった。

表 4.5 乾燥重量サンプルの測定結果

サンプル 番号	サンプル 区分	生重量 (g)	乾燥重量 (g)	生-乾 (g)	含水率 (%)
1	新1上	161.31	99.89	61.42	38.1
2	新1中	584.21	322.42	261.79	44.8
3	新1下	638.18	339.67	298.51	46.8
4	新2上	124.00	78.14	45.86	37.0
5	新2中	636.59	344.98	291.61	45.8
6	新2下	790.60	388.14	402.46	50.9
7	新3上	189.95	110.59	79.36	41.8
8	新3中	489.94	251.50	238.44	48.7
9	新3下	774.91	359.56	415.4	53.6
10	古1上	266.42	179.15	87.27	32.8
11	古1中	617.28	406.72	210.56	34.1
12	古1下	1116.02	627.50	488.52	43.8
13	古2上	187.02	124.93	62.09	33.2
14	古2中	580.26	359.87	220.39	38.0
15	古2下	896.87	479.63	417.24	46.5
16	古3上	193.95	130.92	63.03	32.5
17	古3中	806.32	507.38	298.94	37.1
18	古3下	1231.39	681.49	549.9	44.7

※乾燥方法：105℃、48時間。山口県農林総合技術センター測定

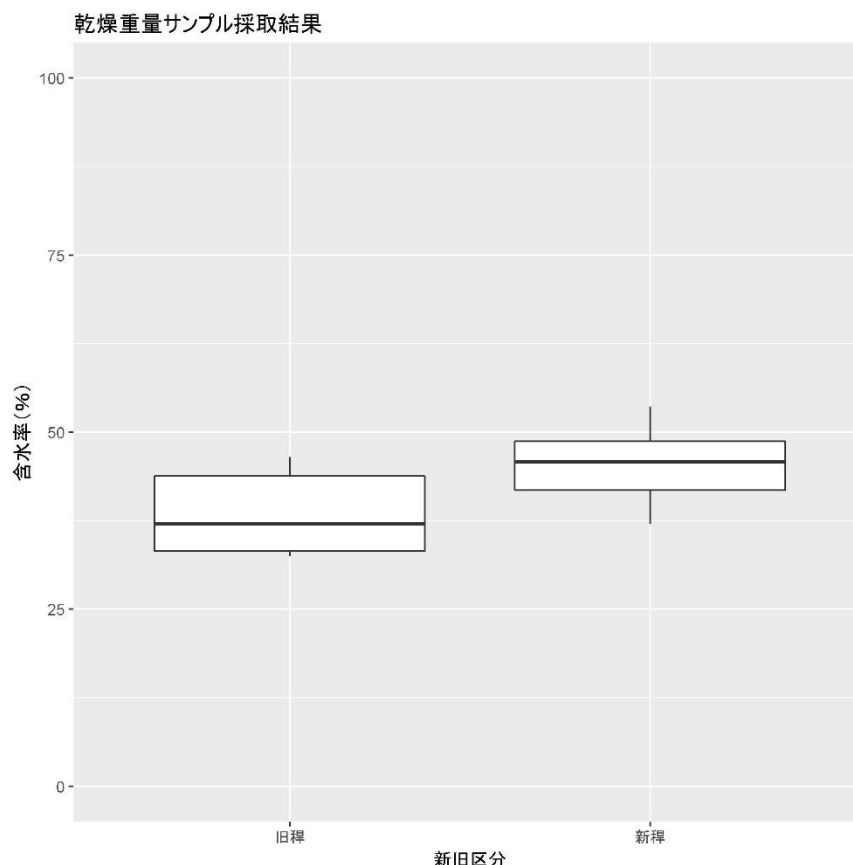


図 4.21 稈の含水率分析結果

4.5.3. 所要時間の分析

4.5.1 で述べた作業について動画を撮影し、各作業に要した時間を計測した。今回、3つの作業ユニットで作業を実施しプロット A において詳細に時間を計測した。3つの作業ユニット A、B、C を合わせた所要時間は 197 分（約 3 時間）であった。ただし、この合計所要時間には機械トラブル（ソーチェーンの脱落等）の時間も含まれている。

表 4.6 実証試験のタイムテーブル（2月27日、プロット A）

作業内容/時間	9:				10:											
	45	50	55	00	05	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	
伐採	■			■			■	■				休				
集材		■			■				■							
玉切り			■			■				■						
整地・移動															■	
倒木除去											■					
根茎除去・路網作設													■	■		
整地															■	
トラック運搬						■	■						■	■		

※実際の作業はそれぞれオーバーラップしていることがある。

伐採、集材、玉切り作業では、伐採して竹稈を引き寄せて仮置き、という作業セットを複数回繰り返し、竹稈が概ね 5 本程度集まった段階で、改めて後方の作業土場に運び、まとめて玉切りして集積するという流れで行われた。

各作業時間の整理においては、これを「伐採・集材」、「玉切り」、「整地・移動」、「倒木除去」、「根茎除去・路網作設」の5つに区分した(表 4.7)。伐採と集材はアームの大きな動きを伴い、安定のために排土板で油圧ショベル本体を固定して行われるため、録画で作業を区別する際には、排土板の上下を便宜的な目安とした。

詳細に時間を計測した作業ユニットであるプロット A の所要時間 50 分のうち、「伐採・集材」と「玉切り」にかかった時間は 34.4 分 (約 69%) であり、うち「伐採・集材」が 19.7 分 (約 40%)、「玉切り」が 14.7 分 (約 30%) であった。それ以外の「整地・移動」「倒木除去」「根茎除去・路網作設」に掛かる時間の合計は 15.6 分 (約 31%) であった。

表 4.7 詳細な作業時間のまとめ (時間)

内容	合計作業時間 (秒)	合計作業時間 (分)
伐採・集材	1,182	19.7
玉切り	880	14.7
整地・移動	161	2.7
倒木除去	133	2.2
根茎除去・路網作設	642	10.7
合計	2,998	50.0

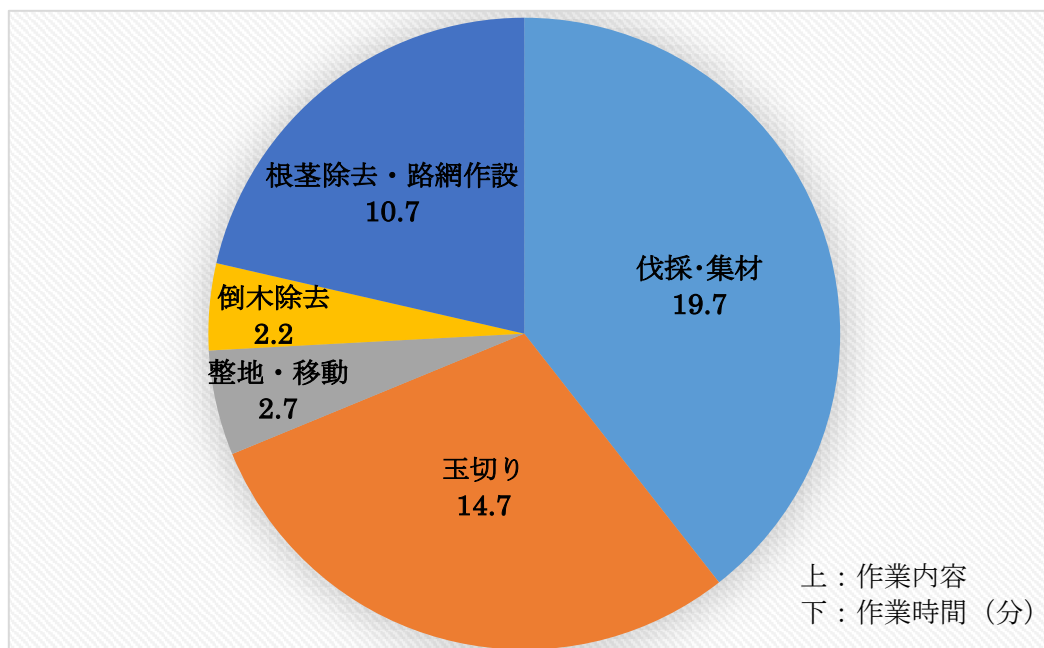


図 4.22 詳細な作業時間のまとめ (割合)

4.5.4. 伐採量の計測

3つの作業ユニット、プロットA、B、Cの伐採量を下記計算式を用いて計測・推定した。

$$\text{乾燥重量(kg)} = 0.1618 \times \text{胸高直径(cm)}^{1.9689} \quad (\text{山口県換算式})$$

表 4.8 作業ユニット毎の竹材の伐採量

プロット	生重量	推定生重量	推定乾重量
	トラックスケール値	毎木調査	山口県換算式
プロットA	1,770 kg	1,930kg	1,195kg
プロットB	2,800 kg	2,581kg	1,596kg
プロットC	3,180 kg	2,789kg	1,722kg
計	7,750 kg	7,300kg	4,513kg

※平均含水率：古い稈 38.1%、新しい稈 45.3%として計算

※枯れ竹も含水率 38.1%として計算

プロットA、B、Cの生重量のトラックスケール値と事前の毎木調査結果から算出した数値に差異が見られるが、立地条件による差も含め多少の誤差が含まれている可能性がある。今回は、生重量に関しては実測値であるトラックスケール値を採用し、本数に関しては毎木調査の結果を用いて後の解析を行うこととする。

4.6. 今回の実証実験結果と既往試験結果との比較

4.6.1. 比較対象となる既往試験結果

ここで既往の竹伐採試験結果との比較を行うが、竹の伐採の生産性に関しては、地形条件や作業方法が様々に異なるため単純な比較はできないことに留意が必要である。竹専用の伐採アタッチメントを用いた竹の伐採の生産性に関する文献情報は、調査した範囲では確認できなかった。

なお、本事業では、伐採機械のアタッチメント改良のみを行ったため、現地実証の内容については竹を伐採、集材、玉切りまでのプロセスのみを対象としている。このため、今回の実証結果と既往調査結果を比較するためには、既往調査結果において伐採、集材、玉切りに相当する部分が抽出可能となっている必要がある。

竹資源供給事業共同事業体（山口県と山口県森林組合連合会の共同事業体）による「平成 26 年度未利用竹資源収集・運搬・燃料化システム実証事業」（平成 27 年 3 月）（以下「平成 26 年度山口県実証調査」）では、竹資源をエネルギー利用するための伐採・チップ化・バイオマス発電所までの搬送等を含めた作業システム構築のため、竹林の伐採、集材、玉切り、枝払い、バンドリング、搬出、チップ化、チップ運搬等様々な工程別に実証実験を行っている。したがって本事業の評価にあたっては、平成 26 年度山口県実証調査の結果より、伐採、集材、玉切り部分のプロセスを取り出し比較を行うこととした。

平成 26 年度山口県実証調査の概要を簡単に述べる。山口県では、繁茂竹林の拡大が顕在化し、森林の適正管理や防災上の問題となってきたことから、竹のエネルギー利用に着目し、竹材の供給体制を新たに構築するため、平成 25 年度から平成 27 年度に掛けて実証事業を実施してきた。平成 26 年度の事業においては、竹のエネルギー利用に掛かる現場手法や使用機械を標準化し作業システムの構築を試みた。平成 26 年度に実証されたシステムは、竹を伐採したその場所でチップ化する「竹林オンサイト・チップ化システム」と、伐採された竹を集積拠点（チップ工場）に運搬し、拠点でチップ化する「拠点集積・チップ化システム」の 2 種類に大きく区分される。現地実証試験は、3 地域で 3 回にわたり実施されたが、3 回目の実証試験は竹林外作業（運搬、チップ化）に係る部分が対象であり竹林内の作業に関する情報は含まれていないため、1 回目、2 回目の調査結果のみ用いる。

実証試験は、第 1 回は周南市、山陽小野田市、山口市、第 2 回は周南市、山陽小野田市、宇部市の 3 地域で行われた。1 回目の各実証試験は 2 サイクルに分かれており、1 回目 6 セット、2 回目 3 セットの計 9 セットのデータがある。いずれも伐採作業はチェーンソーで行われている。一部の集材・玉切り作業において、ザウルスロボが使用されている。9 つの実証試験データを下記のように仮称する。

- ①周南一次（1）：竹林オンサイト・チップ化システム、サイクル 1
- ②周南一次（2）：竹林オンサイト・チップ化システム、サイクル 2
- ③山陽小野田一次実証（1）：拠点集積・チップ化システム、サイクル 1
- ④山陽小野田一次実証（2）：拠点集積・チップ化システム、サイクル 2
- ⑤山口一次実証（1）：拠点集積・チップ化システム、サイクル 1
- ⑥山口一次実証（2）：拠点集積・チップ化システム、サイクル 2
- ⑦周南二次実証：竹林オンサイト・チップ化システム
- ⑧山陽小野田二次実証：拠点集積・チップ化システム
- ⑨宇部二次実証：拠点集積・チップ化システム

これらの実証試験地の概要について、調査地の所在地、面積、傾斜等の立地条件、伐採本数や手法、枝払いの有無、枝葉の処理、竹林の状態（侵入竹林又は純竹林）、フェラーバンチャー（ザウルスロボ）の使用の有無等について、⑩として本事業の実証試験地の情報と併せて示す（表 4.9）。

実施規模については、本事業が 10m×10m の基本ユニット 3 つ分の 0.03ha であるのに対し、既往試験地では、0.26～1.2ha と実施規模がかなり大きい。傾斜は、本事業が 15 度未満であるのに対し、既往試験地では 21～40 度とかなり差がある。伐採方法は⑨のみが帯状伐採である。枝払い、枝葉の残置等は実施内容に差がある。①②及び⑦ではザウルスロボを用いた集材・玉切りを実施している。⑧⑨では麻縄を用いたバンドリングも実施している。

表 4.9 既往試験地及び本事業実証試験地の立地条件等の比較

実施区分	所在地	面積 (ha)	傾斜	伐採本数(本)	伐採方法	枝払い	枝葉の処理	竹林の状態	作業員数(人)	フェラーバンチャーの使用	備考
①周南一次(1)	周南市	0.40	40	219	皆伐	なし	その場でチップ化	侵入	3	集材・玉切りのみ	
②周南一次(2)	周南市	0.40	28	229	皆伐	なし	その場でチップ化	侵入	3	集材・玉切りのみ	
③山陽小野田一次(1)	山陽小野田市	1.20	22.5	224	皆伐	一部	一部残置	侵入	4	なし	
④山陽小野田一次(2)	山陽小野田市	1.20	28	410	皆伐	一部	一部残置	純	4	なし	
⑤山口一次(1)	山口市	0.26	24	206	皆伐	実施	一部残置	侵入	3	なし	
⑥山口一次(2)	山口市	0.26	21	169	皆伐	実施	一部残置	侵入	3	なし	
⑦周南二次	周南市	0.60	25	345	皆伐	なし	チップ化	侵入	3	集材・玉切りのみ	
⑧山陽小野田二次	山陽小野田市	1.20	25	345	皆伐	なし	一部残置	侵入	5	なし	バンドリング実施
⑨宇部二次	宇部市	1.00	22	151	帯状	なし	一部残置	純	3	なし	バンドリング実施
⑩本事業	宇部市	0.03	15	193	帯状	なし	なし	純	1	伐採・集材・玉切り	A,B,C合計

注：①～⑨は平成26年度山口県実証調査の試験地に便宜的に付した名称

4.6.2. 既往試験との比較結果

平成 26 年度山口県実証調査のデータは実施区分ごとに竹の伐採本数、チップないし竹材運搬量、作業工程ごとの作業時間が計測されている。ここから、本事業における実証試験の比較対象となる、伐採、集材、玉切りの工程部分を抽出し、本事業で得られたデータと併せて示す（表 4.）。集計項目は、伐採本数、搬出重量（生重量）（kg）、1 本当たり収量（kg）、作業時間（伐採・集材・玉切りに要した時間）（分）、労働生産性（wt/人時、wt/人日）である。労働生産性は、搬出重量（生重量）（wt）を延べ作業時間で除した値である。1 日は 8 時間で計算した。

なお、第 1 回の実証試験では伐採に係る作業は、玉切り、枝払いの工程も含め「伐採・集材」の 1 工程で区分されており、実施区分③～⑥の実証試験には枝払い作業が含まれている。本事業では枝払いを実施していないが、作業全体に占める割合が大きいことから比較にあたっては留意が必要である。また、⑦の実証試験における玉切りは、土場への移動のためフェラーバンチャー装着のカッターにより 2 分割程度に簡易に採材されたものである。⑧及び⑨の作業には、減容化のためのバンドリング作業が含まれていたが、これは集計から除外した。

本事業の実施結果については、プロットA、B、Cの合計値として⑩に、Aの伐採・集材・玉切りに係る部分のみの抽出結果として⑩-1に、Aの伐採・集材・玉切り以外の作業（路網作設等）も含めた結果として⑩-2に示した（表4.10）。

平成26年度山口県実証調査の実証試験結果である①～⑨の労働生産性（wt/人時）は、⑤の0.19から⑦の1.35まで幅があった。二次実証試験は、一次実証試験の結果を踏まえて工程の見直しを行い、その結果が総じて一次実証試験結果を上回っている。一方本事業の結果は、全体（⑩）で、2.36、Aの伐採関連作業のみの場合（⑩-1）で3.12、他作業追加の場合（⑩-2）で2.12となった。①～⑨までの作業は、チェーンソーによる伐採であり、伐採方法以外に立地条件や1本当たりの収量等の条件も異なることから、バンブーカッター使用の場合に比べ、最小でも1.5倍（⑩-2/⑦）、最大で16倍（⑩-1/⑤）の差が生じている。

表 4.10 既往試験地及び本事業の実証試験結果の比較

実施区分	伐採本数(本)	搬出重量(kg)	1本当たり収量(kg/本)	作業時間(分)※	労働生産性(wet-t/人時)	労働生産性(wet-t/人日)	備考
①周南一次(1)	219	6,510	29.7	739	0.53	4.23	
②周南一次(2)	229	8,860	38.7	933	0.57	4.56	
③山陽小野田一次(1)	224	5,710	25.5	1,345	0.25	2.04	作業時間には枝払いを含む
④山陽小野田一次(2)	410	10,510	25.6	2,607	0.24	1.94	作業時間には枝払いを含む
⑤山口一次(1)	206	7,340	35.6	2,291	0.19	1.54	作業時間には枝払いを含む
⑥山口一次(2)	169	5,710	33.8	1,395	0.25	1.96	作業時間には枝払いを含む
⑦周南二次	345	17,520	50.8	778	1.35	10.81	玉切りは2分割のみ
⑧山陽小野田二次	345	12,760	37.0	1,462	0.52	4.19	バンドリング除く
⑨宇部二次	151	6,630	43.9	551	0.72	5.78	バンドリング除く
⑩本事業	193	7,750	40.2	197	2.36	18.88	A,B,C合計
⑩-1 本事業Aのみ	60	1,770	29.5	34	3.12	24.99	
⑩-2 同上(+路網作設込み)	60	1,770	29.5	50	2.12	16.99	

※作業時間は伐採・集材・玉切りに要した時間の計

4.6.3. 実証試験結果の評価

①伐採作業の評価

既往試験結果との比較では、チェーンソーを用いた伐採に比べると、最小で 1.5 倍、最大で 16 倍の差が生じていた。

試験結果の評価として、比較対象を多少絞り込むとすると、平成 26 年度山口県実証調査では、工程見直しを行った二次実証試験結果⑦～⑨のうち、⑦は簡易な玉切りのみフェラーバンチャーで実施しているので特殊なケースとして除外し、⑧及び⑨を比較対象とするのが妥当と考えられる。本事業の結果については、実務により近い想定として、伐採関連作業以外に路網作設等の作業を含む⑩-2 を比較対象とする。絞り込んだ両者を比較すると、労働生産性の比は 3～4 倍程度の範囲に収まっている。これにより、少なくともチェーンソー伐採を行うのに比べ、3～4 倍程度の労働生産性の向上が期待できる。特に⑨は帯状伐採のケースであり、路網作設の時間を加味しても 3 倍程度の効率化が実現できている。

②路網作設の評価

路網作設にあたり、根茎（根株）の除去が課題となるが、実証試験では平均 32 ± 10 秒程度で 1 本の根茎を処理可能であることがわかった。プロット A における路網作設に関連した作業時間は整地や倒木除去を含めると全体の約 31%であった。

また、今回使用した BC-25s のグラップルトングの幅は一般的なパワーショベルの幅に比べるとかなり狭いため、掘り起こしの土量が少なく、林地の攪乱がより少ないと考えられる。

また、グラップルトングの補強のため新たに追加した 2 本の爪の効果であるが、今回の実証試験ではトングの先端が変形する等のトラブルは確認されなかった。ただし、今回の実証試験地の土質は粘土質でやわらかく、岩石等も介在していなかったことから、耐久性の評価についてはさらなる検証が必要である。

③カッター刃の改良の効果

様々な径級の竹の伐採に対応できるよう、刃の形状の改良を行ったが、今回の実証試験ではモウソウチクが対象であり、細い竹の伐採は行っていない。玉切りの際に先端に近い部分や枝葉も含めた玉切りをカッターで行っているが、とくにトラブルは見られなかった。

5. 低コストかつ効率的な施業体系の検討

今回の実証試験において、改良アタッチメントの使用により、帯状伐採竹の伐採に係る作業（伐採、集材、玉切り）は、チェーンソーによる伐採に比べて3~4倍程度効率化可能であることが明らかとなった。

5.1. 適用可能な立地条件

今回の改良アタッチメント BC-25s を利用した作業を適用可能な竹林の立地条件にはかなり制約がある。すなわち、

- ・傾斜 15 度未満であること
- ・ベースマシンが搬入可能な幅員（少なくとも 2.5m 以上）の道路に接続していること

これらの立地条件を実際に満たす竹林は少ないものと思われ、今回の改良アタッチメントのみを用いた場合の実際の生産性はそれほど上がらず、一方では機械の稼働率が低下することにより、コストも上昇すると考えられる。今回改良を行った機器の有効活用のためには、立地条件を考慮した従来手法との適切な組み合わせがポイントとなってくる。

5.2. 低コストかつ効率的な施業体系の検討

BC-25s を効果的に活用した持続可能で効率的な竹林の施業体系としては、従来手法（チェーンソーによる人力伐採）との適切な組み合わせとして以下のような立地条件を想定した。すなわち、

- ①BC-25s での作業システムを適用可能
- ②①に隣接しチェーンソーで帯状伐採して下げ荷で①に集材可能
- ③①に隣接しチェーンソーで帯状伐採して上げ荷で①に集材可能

という3種の立地条件で、BC-25s が入れない傾斜地ではチェーンソーによる人力伐採、集材を行い、玉切りについては①で BC-25s を用いて集中的に実施するような作業システムとすれば、BC-25s の稼働率が上がり、低コストかつ効率的な竹伐採の施業体系につながると考えられる。今回実証試験を行ったサイトにこの仕組みを適用すると図 5.1 のような形態となることが想定できる。

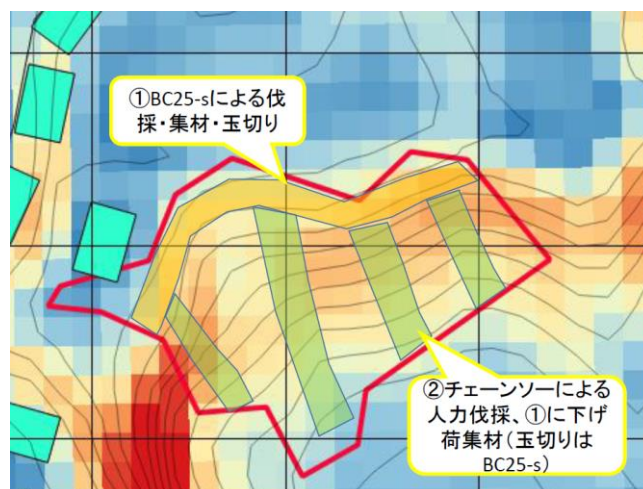


図 5.1 施業の組み合わせイメージ

6. まとめ及び今後の課題

本事業においては、竹林の持続可能な施行体系の構築を目指し、竹林施業のうち伐採・集材・玉切り作業の効率化に着目し、竹専用の伐採機械の改良を行った。具体的には既存のアタッチメントであるバンブーカッターについて改良を行い、BC-25sを開発した。既往の試験結果と比較したところ、チェーンソーを使った作業に比べ3倍程度の効率化が図れることが期待される。

一方、BC-25sを適用可能な竹林の条件は非常に限られるが、従来手法の組み合わせにより最適化した施業システムが構築できると考えられた。平成28年度事業において開発した資源把握手法を組み合わせることにより、適用可能な立地条件を抽出し、どの程度の効率化が期待できるか試算することが可能と思われる。

今後の課題としては、

- 様々な立地条件において機械併用システムを適用した場合、具体的にどの程度の効率化が可能であるかの試算、シミュレーション、安定供給に向けた課題の抽出、分析
- 竹の用途（マテリアル利用等）に配慮した場合の伐採方法の改善
- 減容化や乾燥への寄与を考慮した場合の作業工程の改善
- 様々な立地条件における適用可能性の検討

といった点が挙げられる。

7. 企画・検討委員会の開催

7.1. 企画・検討委員会の概要

作業工程の検討及び機材改良の一環として、竹材生産情報を把握するための手法を確立するため、学識経験者、生産者等で構成する企画・検討委員会を構成し、運営、開催した。委員は表 7.1 に示すとおりで、竹やりリモートセンシング、景観生態学、林業工学等の研究業績のある専門家とした。これに行政関係者を加え委員会を構成した。

表 7.1 企画・検討委員会名簿

氏名	所属	専門分野
佐野 真琴	国研)森林研究・整備機構 森林総合研究所森林管理研究領域長	森林リモートセンシング、GIS
鳥居 厚志	国研)森林研究・整備機構 森林総合研究所 関西支所	森林科学
上村 巧	国研)森林研究・整備機構 森林総合研究所林業工学研究領域	林業工学
佐々木 達也	国研)森林研究・整備機構 森林総合研究所林業工学研究領域	林業工学
藤原 道郎	兵庫県立大学大学院 緑環境景観マネジメント研究科 教授	植生管理学
山田 隆信	山口県 農林水産部 森林企画課 主査	林業政策

(敬称略)

企画・検討委員会を下記のとおり 2 回開催した。巻末資料に議事次第を添付した。

表 7.2 委員会開催スケジュール

回	開催時期	検討内容
第 1 回	平成 29 年 1 月 26 日 日林協会館 4 階中会議室	<ol style="list-style-type: none"> 1. 効率的な竹林施業体系について 2. 機械改良に至った経緯 3. 実証試験について(日程、場所、段取り等) 4. スケジュール等について 5. その他
第 2 回	平成 30 年 3 月 12 日 日林協会館 4 階中会議室	<ol style="list-style-type: none"> 1. 機械改良に至った経緯 2. 基本方針 3. 実施結果 <ol style="list-style-type: none"> ① 機械の改良 ② 実証試験 ③ 記録ビデオ上映 ④ 効率的な施行体系の検討 4. まとめ・その他



第1回企画・検討委員会会場写真



第2回企画・検討委員会会場写真

図 7.1 企画・検討委員会会場写真

卷末資料（付録）

資料 1：第 1 回検討委員会議事次第

資料 2：第 2 回検討委員会議事次第

卷末資料1 第1回検討委員会議事次第

日時：2018年1月26日（金）13:30-15:30

場所：東京都千代田区六番町7番地

日林協会館5階中会議室

（一般社団法人日本森林技術協会内）

平成29年特用林産振興総合対策事業のうち

特用林産物の供給力向上のうち

効率的な竹林施業体系の構築 事業 第1回検討委員会

議事次第

事務局挨拶

座長挨拶

議題

1. 効率的な竹林施行体系について
2. 機械改良に至った経緯
3. 実証試験について（日程、場所、段取り等）
4. スケジュール等について
5. その他

【配布資料】

第1回検討委員会説明資料

別紙1 パワーポイントスライド印刷

別紙2 実証試験候補地の位置図（宇部市）

出席者（敬称略、順不同）

委員（座長）	佐野 真琴	国研）森林研究・整備機構	森林総合研究所森林管理研究領域長
委員	上村 巧	国研）森林研究・整備機構	森林総合研究所林業工学研究領域
委員	佐々木 達也	国研）森林研究・整備機構	森林総合研究所林業工学研究領域
委員	藤原 道郎	兵庫県立大学大学院	緑環境景観マネジメント研究科 教授
委員	山田 隆信	山口県 農林水産部	森林企画課 主査
委員（欠席）	鳥居 厚志	国研）森林研究・整備機構	森林総合研究所 関西支所
林野庁	石塚 洋介	林政部 経営課	特用林産対策室 課長補佐
林野庁	山下 広	林政部 経営課	特用林産対策室 係長
事務局	金森 匡彦	一般社団法人 日本森林技術協会	森林情報グループ
事務局	郡 麻里	一般社団法人 日本森林技術協会	森林情報グループ
事務局	金森 知里	一般社団法人 日本森林技術協会	森林情報グループ

日時：2018年3月12日（火）13:30-15:30

場所：東京都千代田区六番町7番地

日林協会館5階中会議室

（一般社団法人日本森林技術協会内）

平成29年度特用林産振興総合対策事業のうち

特用林産物の供給力向上のうち

効率的な竹林施業体系の構築 事業 第2回検討委員会

議事次第

事務局挨拶

座長挨拶

議題

1. 事業の背景・目的（機械改良に至った経緯）
2. 基本方針
3. 実施結果
 - ① 機械の改良
 - ② 実証試験
ビデオ上映
 - ③ 効率的な施行体系の検討
4. まとめ・その他

【配布資料】

第2回検討委員会説明資料

別紙1 パワーポイントスライド印刷

別紙2 実証試験地の概要（宇部市）

別紙3 毎木調査・バイオマス量の推定結果

効率的な竹林施業体系の構築 事業 第2回検討委員会

出席者（敬称略、順不同）

委員（座長）	佐野 真琴	国研）森林研究・整備機構	森林総合研究所森林管理研究領域長
委員	鳥居 厚志	国研）森林研究・整備機構	森林総合研究所 関西支所
委員	上村 巧	国研）森林研究・整備機構	森林総合研究所林業工学研究領域
委員	佐々木 達也	国研）森林研究・整備機構	森林総合研究所林業工学研究領域

委員	藤原 道郎	兵庫県立大学大学院 緑環境景観マネジメント研究科	教授
委員	山田 隆信	山口県 農林水産部 森林企画課	主査
林野庁	石塚 洋介	林政部 経営課 特用林産対策室	課長補佐
林野庁	山下 広	林政部 経営課 特用林産対策室	係長
事務局	金森 匡彦	一般社団法人 日本森林技術協会	森林情報グループ
事務局	郡 麻里	一般社団法人 日本森林技術協会	森林情報グループ
事務局	金森 知里	一般社団法人 日本森林技術協会	森林情報グループ

平成 29 年度特用林産振興総合対策事業のうち
特用林産物の供給力の向上のうち
効率的な竹林施業体系の構築報告書
平成 30 年 3 月

一般社団法人日本森林技術協会 担当者 金森 匡彦
〒102-0085 東京都千代田区六番町 7 番地 TEL : 03-3261-5281 (代表)