

令和3年度
造林作業の機械化に向けた
実証調査委託事業
報告書

令和4年3月

林野庁

□□□□□□□□□□ 目 次 □□□□□□□□□□

1 事業の概要	1
1.1 事業名	1
1.2 業務位置	1
1.3 履行期間	1
1.4 発注者	1
1.5 受注者	2
1.6 業務工程	2
1.7 事業目的	2
1.8 実施項目	3
2 業務実施の背景	4
2.1 諸要因による再生林の未実施	4
2.2 造林作業の機械化の必要性	6
3 実証試験のデザイン	7
3.1 調査地の区分	7
3.2 使用機械	12
3.3 検証項目	14
4 実証地の状況	15
4.1 自然環境	15
4.2 対象林小班の施業履歴	25
5 作業の実施状況	26
5.1 現地事前打合せの開催	26
5.2 事前作業の実施	27
5.3 機械地拵え作業	28
5.4 人力地拵え作業	38
6 作業の実施結果	40
6.1 ビデオによる機械功程分析	40
6.2 人力地拵え作業の功程分析	50
6.3 コスト試算	51
6.4 マルチング効果について	54
7 考察	60
7.1 実証調査のまとめ	60
7.2 造林作業の機械化について	61
7.3 造林作業の機械化に向けて	69
7.4 最後に	74

1 事業の概要

1.1 事業名

令和3年度造林作業の機械化に向けた実証調査委託事業

1.2 業務位置

業務は、宮崎県日南市に位置する小松山国有林（宮崎南部森林管理署 55 林班れ小班の一部）（図 1.1）で行った。

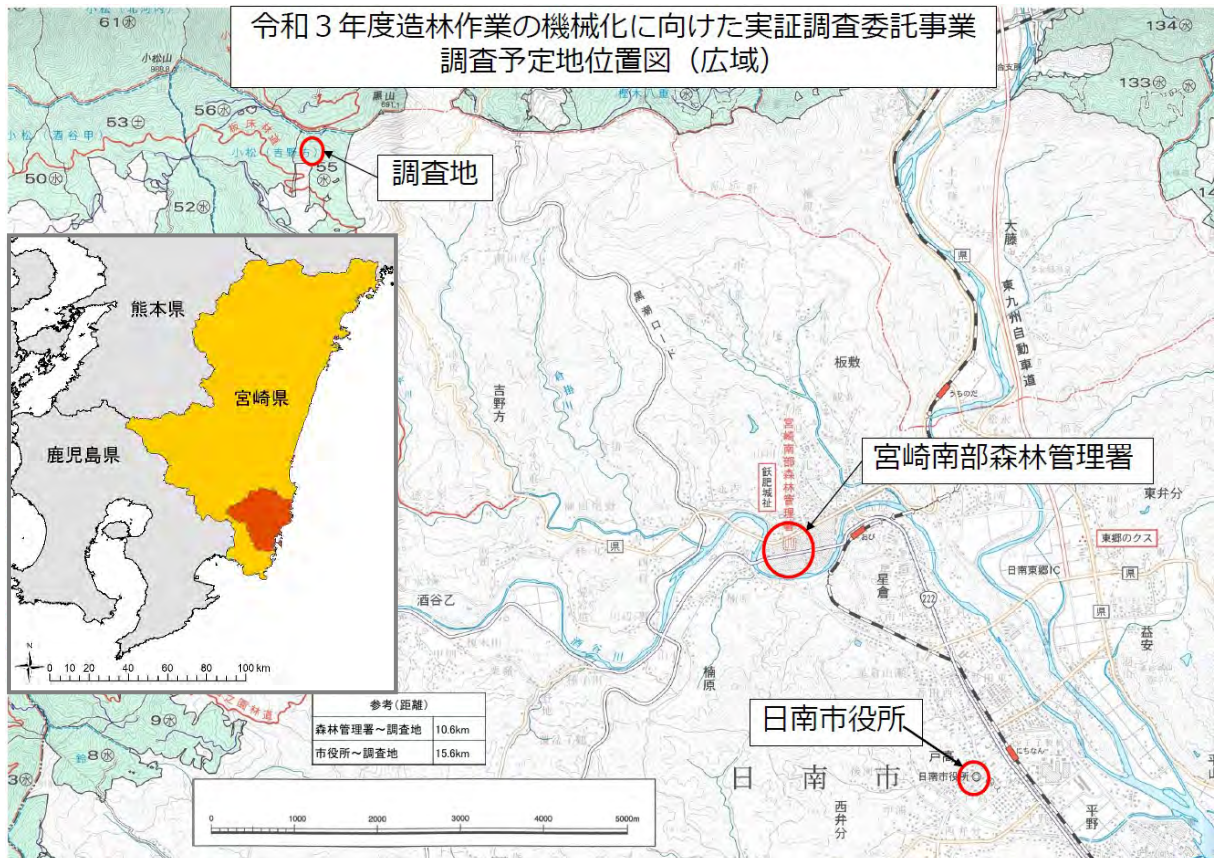


図 1.1 業務位置図

1.3 履行期間

始期 令和3年12月 1日

終期 令和4年 3月11日

1.4 発注者

支出負担行為担当官 林野庁長官 天羽 隆

(業務担当 林野庁国有林野部業務課)

1.5 受注者

株式会社三共コンサルタント 代表取締役 宮崎 剛（北海道士別市東4条3丁目2番地）
（業務担当 株式会社三共コンサルタント札幌支店 環境事業部）

表 1.1 業務担当者一覧

役割	役職	氏名	主な保有資格
業務運営責任者	専務取締役	佐々木哲男	測量士、RCCM（道路）
管理技術者	環境事業部 部長	山口信一	技術士（総合技術監理部門（森林-森林環境）、森林部門（林業、森林土木、森林環境）、測量士
担当技術者	環境事業部 技師長	佐藤創	農学博士（北海道立林業試験場フェロー）
	環境事業部 技師	一戸雄斗	文書情報管理士2級
	環境事業部 技師	福島玲依	第1種銃猟、わな猟、網猟
	設計事業部 技師長	小林孝	技術士（建設部門（河川、砂防及び海岸・海洋、施工計画、施工設備及び積算）
	環境事業部 技師	中村さとみ	

1.6 業務工程

業務は、表 1.2 に示す工程で実施した。

表 1.2 業務工程表

項目	11月			12月			1月			2月			3月	
	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中
打合せ				↔			←	→				↔		
計画準備				↔	→									
実証調査				↔	→		→							
データの整理				↔	→		→							
分析・評価							↔	→						
成果物作成							↔	→						
成果物納品														↔

1.7 事業目的

人工林資源が充実し本格的な利用期を迎える中、森林の公益的機能の発揮と持続可能な林業の発展には、主伐後の再造林を着実に進める必要がある。

一方、再造林の推進に当たっては、労働強度が高く機械化の進んでいない造林作業の効率化と軽労化を図ることが重要な課題である。

このため、本事業では造林作業の機械化による施業効率化に向けて、国有林をフィールドに実証調査を行い、機械化に資するデータの収集・分析を行うことを目的とする。

1.8 実施項目

本事業における主な実施項目は、表 1.3 に示すとおりである。また、事業の実施は図 1.2 のとおり行った。

表 1.3 事業の実施項目

実施項目	主な実施内容
1. 計画準備	本業務を遅滞なく効率的に実施するよう計画・準備を行う
2. 調査計画	調査目的・調査箇所に合致した調査計画を行う
3. 実証調査（機械地拵えは、㉠㉡㉢㉣の4プロットに区分し、それぞれ異なる手法で実施。さらに対照地として人力地拵えの㉤プロットも設定）	A) 事前把握：実証地の地形、下層植生、施業履歴等を把握
	B) 実証地の設定：プロット区画と植栽列の標示
	C) 機械地拵え：選定機械による機械地拵えの実施、及びデータ収集
	D) 人力地拵え：地元事業者による人力地拵えの実施
4. 分析・評価	作業工程の分析、造林作業の機械化の評価、造林作業前後の作業との連携、造林機械のバージョンアップの方向性、破砕物によるマルチング効果等
5. 報告書作成	上記項目の報告書への取りまとめ

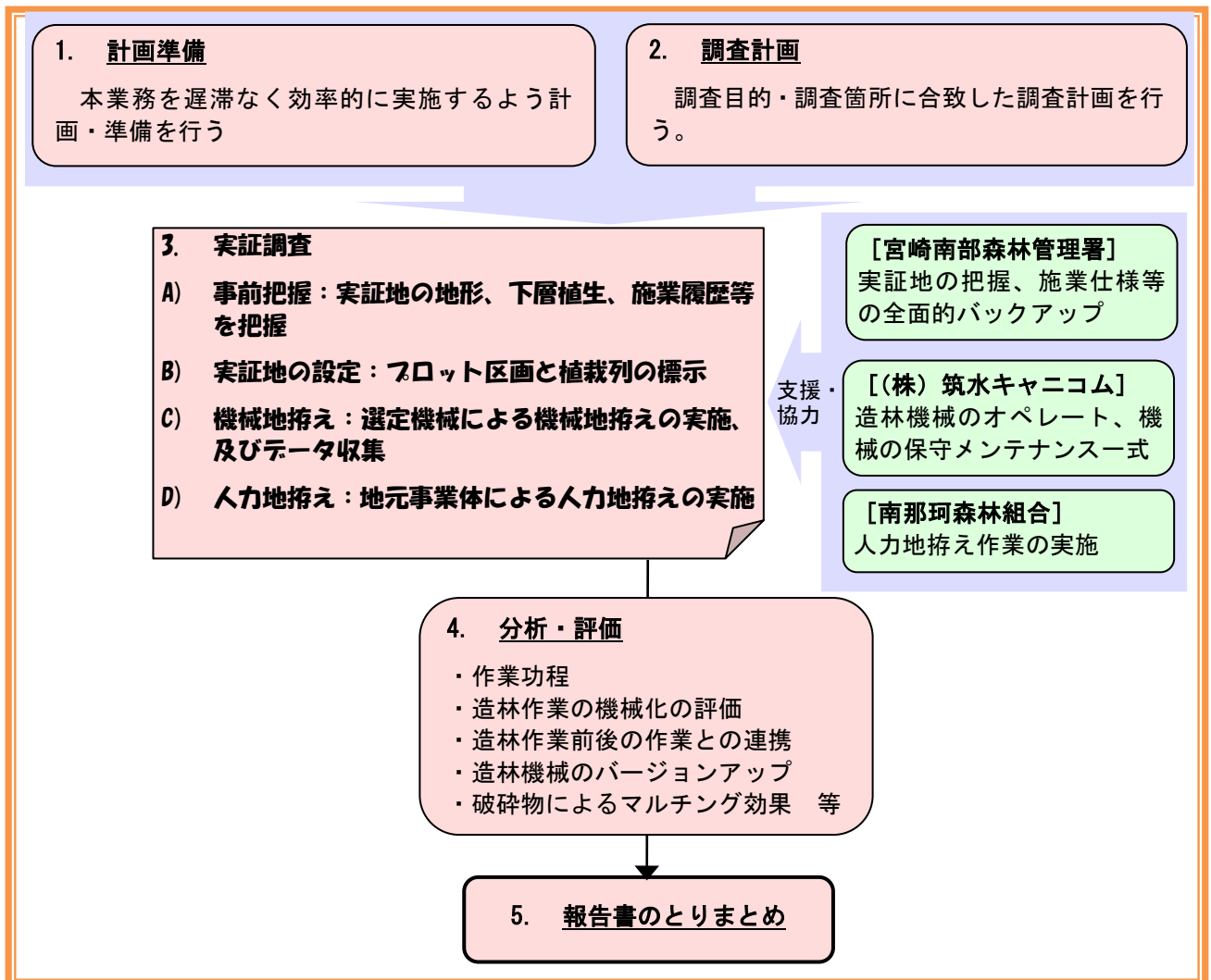


図 1.2 事業の実施フロー

2 業務実施の背景

2.1 諸要因による再造林の未実施

1) 林業経営における採算性の問題

日本の森林面積の約4割を占める人工林では、一般的な主伐時期である50年生を超える人工林面積が10年前の約2.4倍に増加し（図2.1）、各地の森林で主伐の実施可能面積が増えてきている。

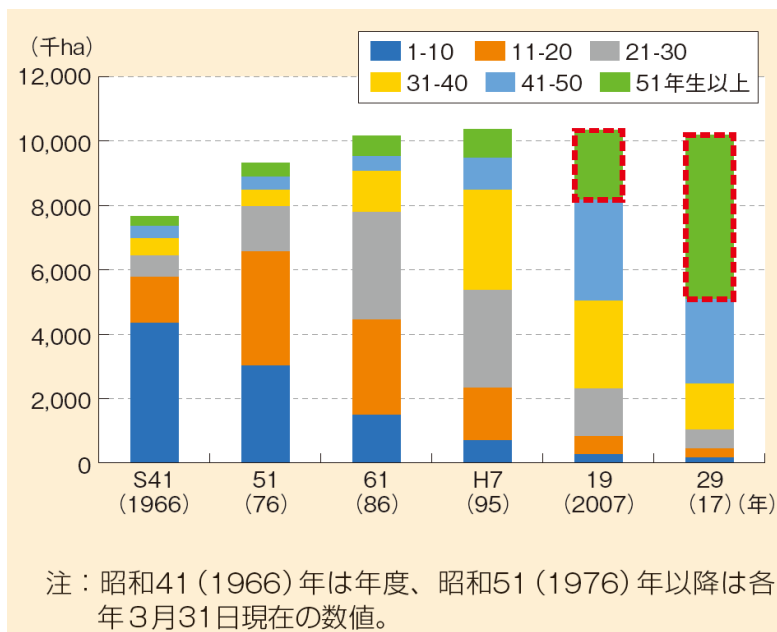
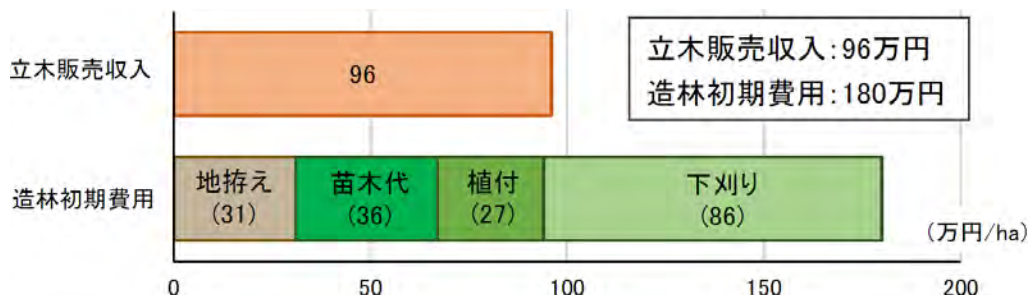


図 2.1 人工林の樹齢別面積の推移 (出典：令和2年度 森林・林業白書)

しかし、主伐後にセットで実施されるべき再造林については、主伐面積の3～4割程度しか実施されていないのが実態であり、立木販売による収入に対して再造林に掛かる費用がその2倍近く必要となることなどにより、森林所有者等が積極的な森林経営が行なえていないことが主要因である（図2.2）。



※「立木販売収入」は、スギ山元立木価格にスギ10齢級の平均在席315 m³/haを乗じて算出。

※「造林初期費用」は、令和元年標準単価より作成。諸条件は、スギ3,000本/ha植栽、下刈り5回、除伐2回、保育間伐1回、搬出間伐(50～60 m³/ha)1回とした。

図 2.2 立木販売収入と造林初期費用の比較 (イメージ) (出典：林野庁業務資料)

2) 従事者不足

図 2.3 のとおり、林業従事者数は長期的にみると減少傾向で推移しており、国勢調査（総務省）によると、平成 27 年は約 4 万 5 千人の方が林業に従事していた。内訳は、伐木・造材・集材従事者が約 2 万 1 千人、育林従事者が 1 万 9 千人、その他林業従事者が 5 千人となっていたが、近年、伐木・造材・集材従事者が約 2 万人で推移している一方、育林事業者は 4 万 2 千人から 1 万 9 千人に半減した。

以上から、今後の増加する再造林に対応する労働力が確保できないおそれが指摘されている。

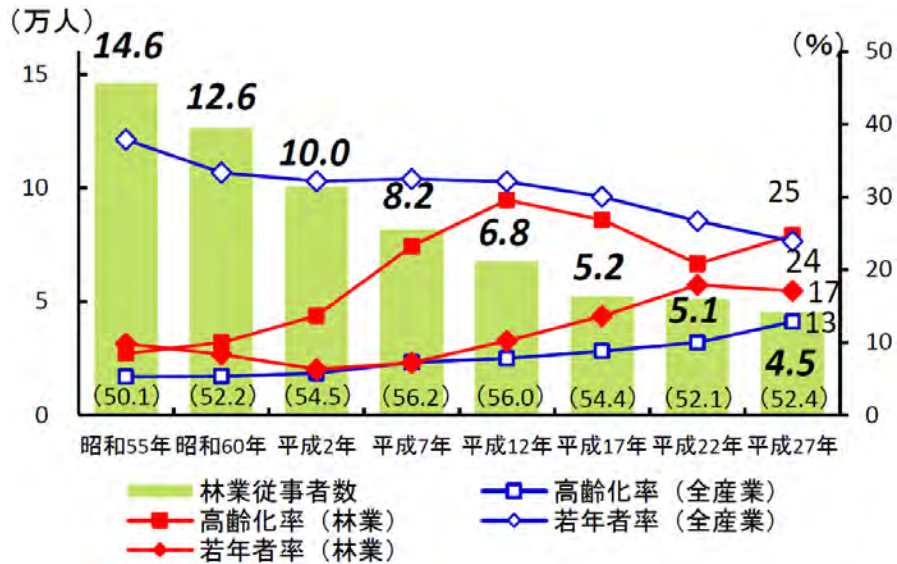


図 2.3 林業従事者数と高年齢率などの推移

3) 高い労働負荷

造林作業の機械化は遅れており、緩傾斜地や林道付近等の限られた林地において、グラブ（一部ではヘッドにレーキを装着した作業事例もある）による機械地拵えが行なわれているもの（写真 2.1）、全体的には人力による作業が主流である（写真 2.2）。人力による地拵え作業では、下層植生の処理には刈払機やチェーンソーが使用されるが、処理木や林地残材の移動には人力で行うしかないのが現状で、足場が悪いところで重量物を取り扱うことは高い労働負荷となっている。

また、前掲図 2.3 によれば、林業の若年齢化率が平成 2 年以降増加傾向で推移しているものの、全産業の高年齢化率が 13% であるのに対し林業の高年齢化率は 25% と、2 倍近くの状況となっていることから、労働負荷がさらに高まる上に労働災害の発生率上昇の懸念もある。

したがって、一部に若年齢者の林業参入の動きが見られるが、依然として高齢作業も多く、急傾斜地や下層植生が繁茂した林地での造林作業は厳しく危険を伴うものである。造林作業の負担軽減を目的としたアシストスーツや無人機械の開発も進んでいるが、実用化にはまだ時間を要する状況である。



写真 2.1 北海道千歳市内の国有林におけるグラップルレーキによる機械地拵え
(出典：平成 27 年度低コスト造林技術実証・導入促進事業報告書)



宮崎県日南市小松山国有林 55 畝林小班



広島県福山市久賀山国有林 778 へ 1 林小班

写真 2.2 急傾斜地における人力地拵え作業

2.2 造林作業の機械化の必要性

2.1 で列挙した諸要因などが、主伐後の再造林が実施されない懸念材料と考えられる。そのような状況の中で、機械による造林作業は、作業の効率化だけでなく軽労化や作業者の安全確保の観点からも従来の人力作業よりも期待が高く、再造林を着実に実施していくためにも、造林作業における機械化は重要な課題と考えられる。

そこで、本事業では素材生産が盛んな宮崎南部森林管理署管内の小松山国有林（宮崎県日南市）において、乗車型造林機械による造林作業工程や必要経費などを明らかにし、造林作業の機械化に資するデータを収集することとした。

3 実証試験のデザイン

本実証試験では、緩傾斜地における造林機械による地拵え作業と隣接地における人力地拵え作業との工期比較及び費用比較を行うこととした。また、様々な角度から造林機械の有効性を検証し、機械作業の効果が発揮される条件・環境の整理を目指した。

3.1 調査地の区分

実証調査を行う調査地は、前述の通り、宮崎県日南市の小松山国有林内の宮崎南部森林管理署 55 林班れ小班の一部とした（写真 3.1）。



写真 3.1 実証地の空撮写真（地拵え作業前）※ドローン空撮写真数枚を合成

当初計画では、使用する機械は急傾斜地では使用できないことを考慮し、調査地を緩傾斜地区⑧、⑨、中傾斜地区④、⑤、そして機械作業ができないため人力作業を行う急傾斜地区⑥に大別することを想定していたが、実証調査前に行った関係者（委託者、受託者、地元署、機械作業予定者、人力作業予定者）による現地打合せや、実証調査中における関係者間の合意等により、最終的に表 3.1 の 7 区分とし位置関係は図 3.1 のとおりとした。また、各区分における地拵えと植栽に関する考え方は、図 3.2 に示した。

本実証事業における地拵えでは、植栽列を確保するため地表に散在する伐採時の残材等の整理や下層植生の刈払いだけでなく、実施造林機械の走路確保や、将来的な下刈りを機械で実

施することも想定し、目的に合った伐根処理を各調査区で行った。

表 3.1 調査地区分の内容

区分	地拵え（本実証事業）	植付方法 (2,000本/ha)	将来的な 下刈方法	備考
A 等高線	<ul style="list-style-type: none"> ・機械地拵え ・等高線に沿って機械で処理し、植列の障害とならない伐根は存置 ・機械作業が未実施の箇所は人力で補完 	林地傾斜に対し横方向に列間2.5m、苗間2.0mで植栽	<ul style="list-style-type: none"> ・機械(小型遠隔操作草刈機)による列間のみの筋刈 	
A 傾斜	<ul style="list-style-type: none"> ・機械地拵え ・傾斜方向に沿って機械で処理し、植列の障害とならない伐根は存置 ・機械作業が未実施の箇所は人力で補完 	林地傾斜に対し縦方向に列間2.5m、苗間2.0mで植栽	<ul style="list-style-type: none"> ・下草の繁茂状況により2年目以降の実施を検討 	急傾斜等により機械作業の未実施エリアが発生
B 全刈り	<ul style="list-style-type: none"> ・機械地拵え ・全ての伐根・林地残材等を破砕 	林地傾斜に対し縦方向に列間2.5m、苗間2.0mで植栽	<ul style="list-style-type: none"> ・機械(小型遠隔操作草刈機)により列間と苗間を縦横に全刈り 	
B 伐根残	<ul style="list-style-type: none"> ・機械地拵え ・全ての伐根は存置し伐根の間のみ整備 ・機械の通行上障害となる伐根のみ破砕 	林地傾斜に対し縦方向に列間2.5m、苗間2.0mで植栽	<ul style="list-style-type: none"> ・下草の繁茂状況により2年目以降の実施を検討 	
C	<ul style="list-style-type: none"> ・機械地拵え ・等高線に沿って機械で処理し、植列の障害とならない伐根は存置 ・機械作業が未実施の箇所は人力で補完 	林地傾斜に対し横方向に列間2.5m、苗間2.0mで植栽	<ul style="list-style-type: none"> ・機械(小型遠隔操作草刈機)による列間のみの筋刈 ・下草の繁茂状況により2年目以降の実施を検討 	今後のスタンダードとしたい手法
D	<ul style="list-style-type: none"> ・機械地拵え ・傾斜方向に沿って機械で処理し、植列の障害とならない伐根は存置 ・機械作業が未実施の箇所は人力で補完 	林地傾斜に対し縦方向に列間3.0m、苗間1.67mで植栽	<ul style="list-style-type: none"> ・機械(小型遠隔操作草刈機)による列間のみの筋刈 ・下草の繁茂状況により2年目以降の実施を検討 	急傾斜等により機械作業の未実施エリアが発生
E	<ul style="list-style-type: none"> ・人力地拵え ・刈払機による下草の伐採と、残材等の細分化及び植列方向への整理 	林地傾斜に対し縦方向に列間2.5m、苗間2.0mで植栽	<ul style="list-style-type: none"> ・人力による刈払機での筋刈 	埋戻しの作業道や谷沿いの岩石地を含み全域が急傾斜地

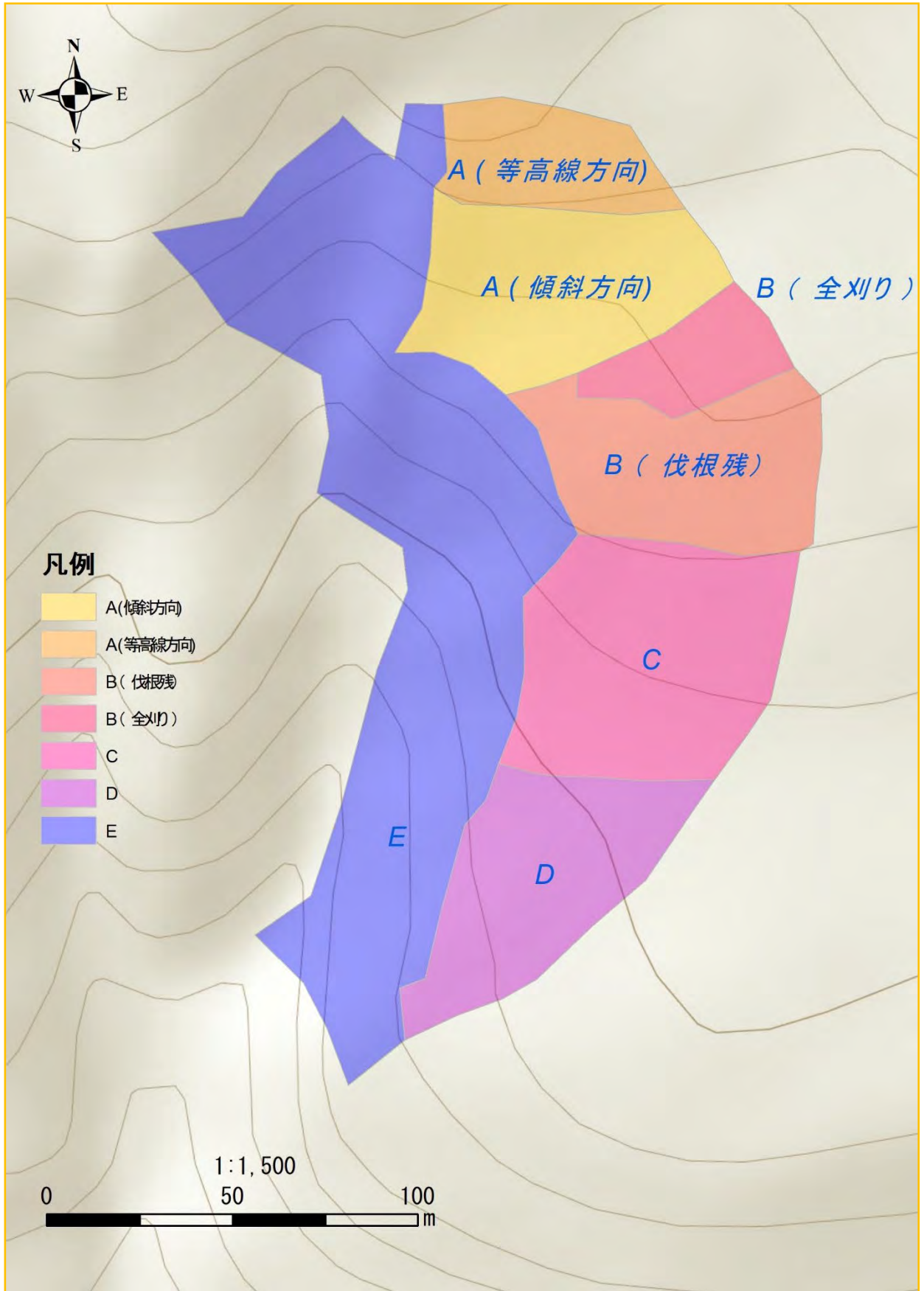
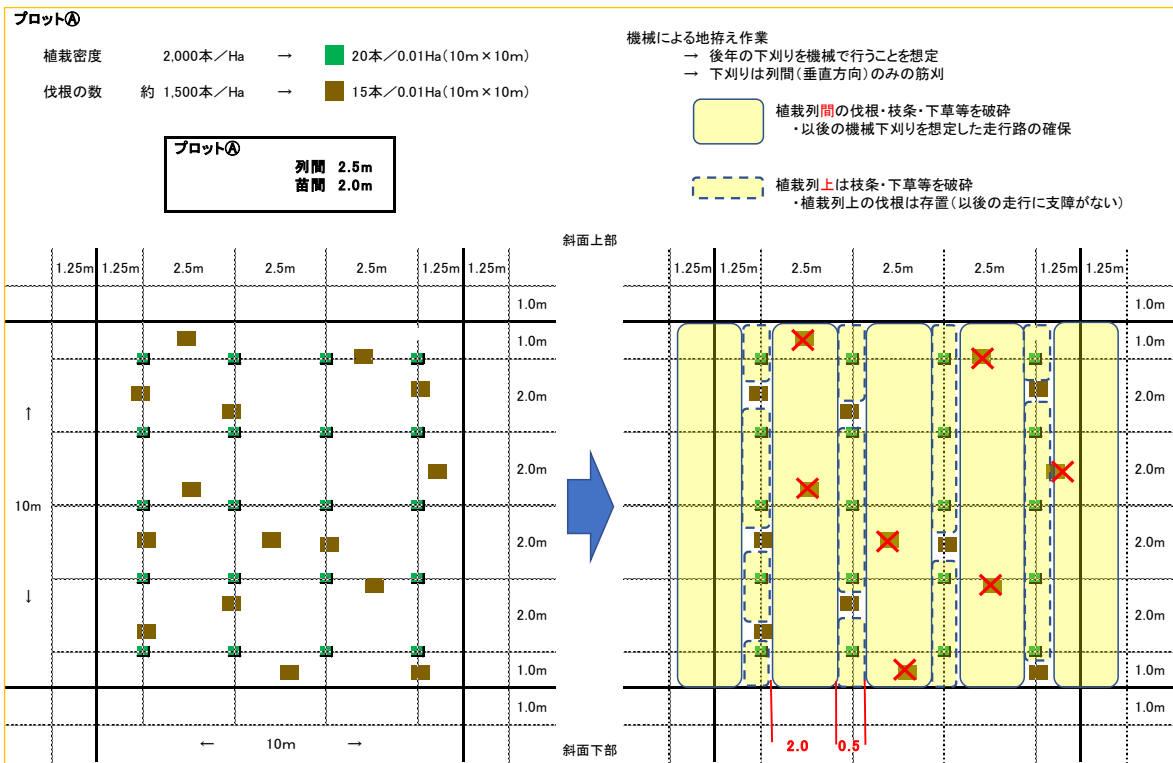


図 3.1 調査地区分 (区分は GNSS 機器の現地データに基づく)



※実際には、現地の伐根の配列状況や植栽列等を考慮し、斜面上方を等高線に沿って水平方向に機械地拵えを行う調査区 (A 等高線区) とした。処理作業の考え方などはプロットCと同様とし、破碎幅の斜面下側に植栽列を想定した。なお、斜面下方は上記のプロット④の考え方とおりとした。

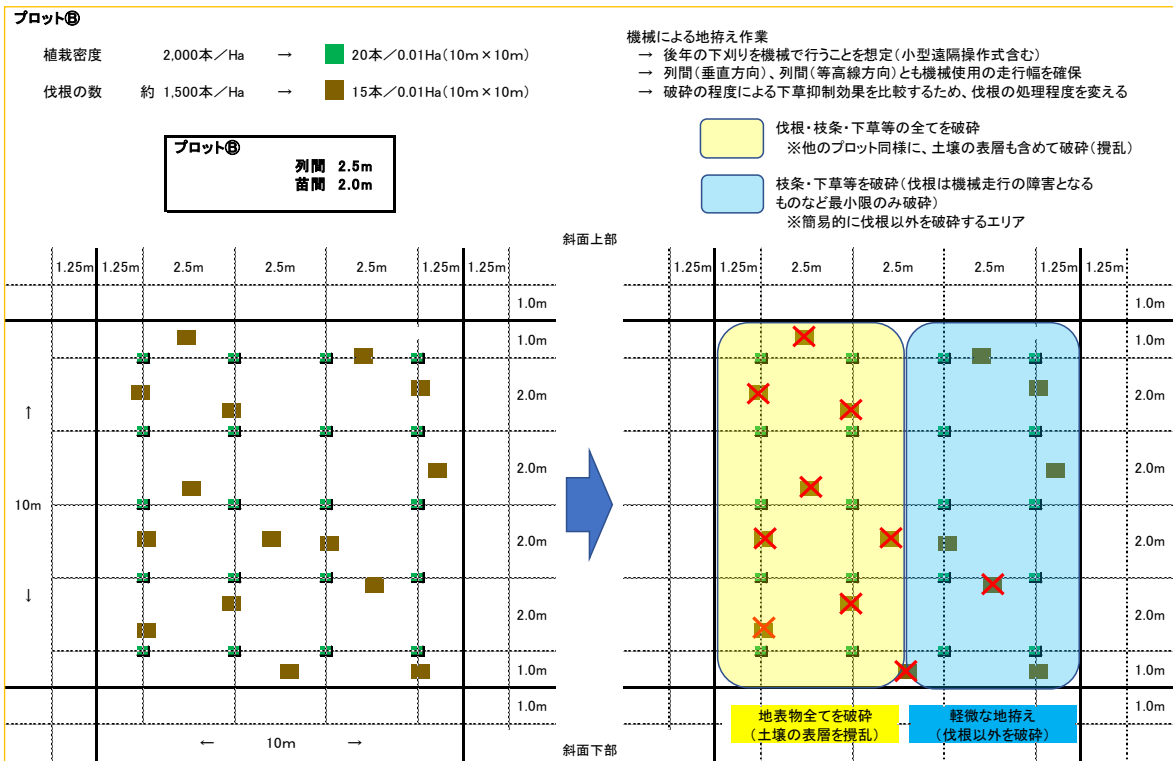


図 3.2 伐根と植列に注目した処理方法の模式図 (上段：プロットA、下段：プロットB)

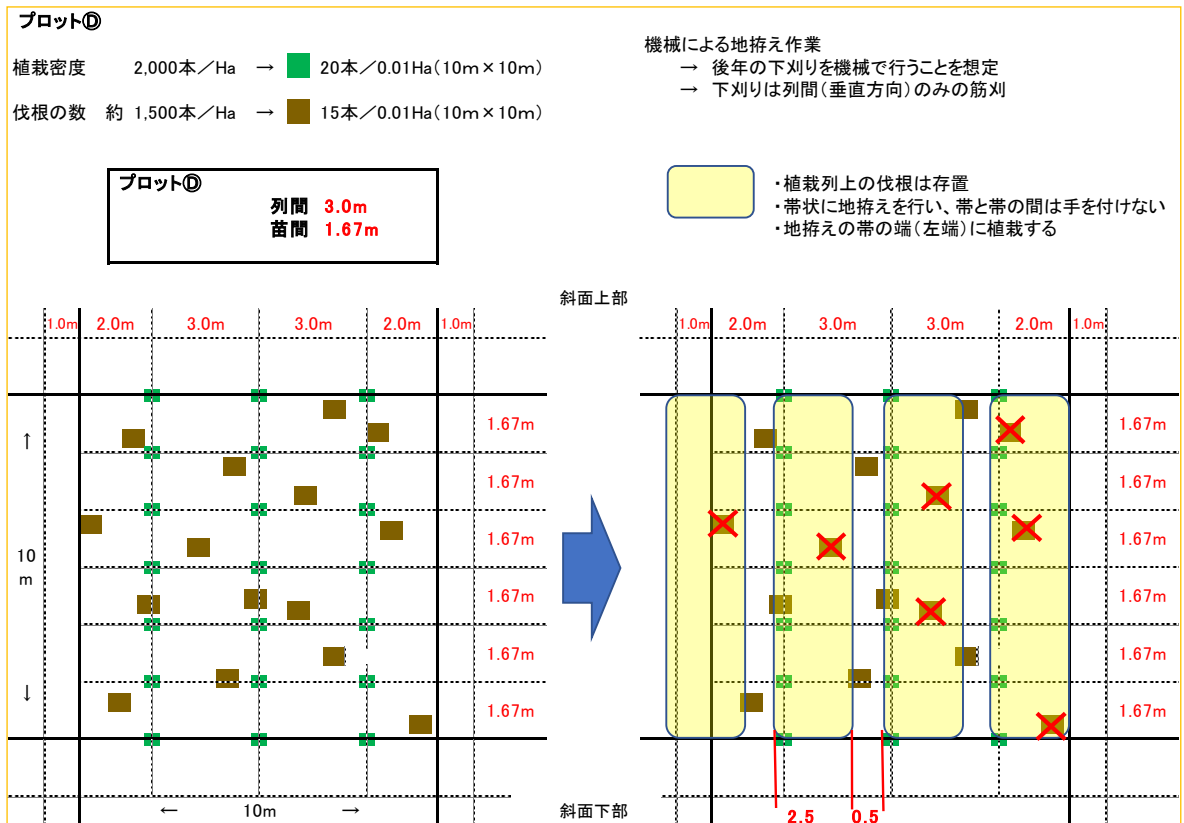
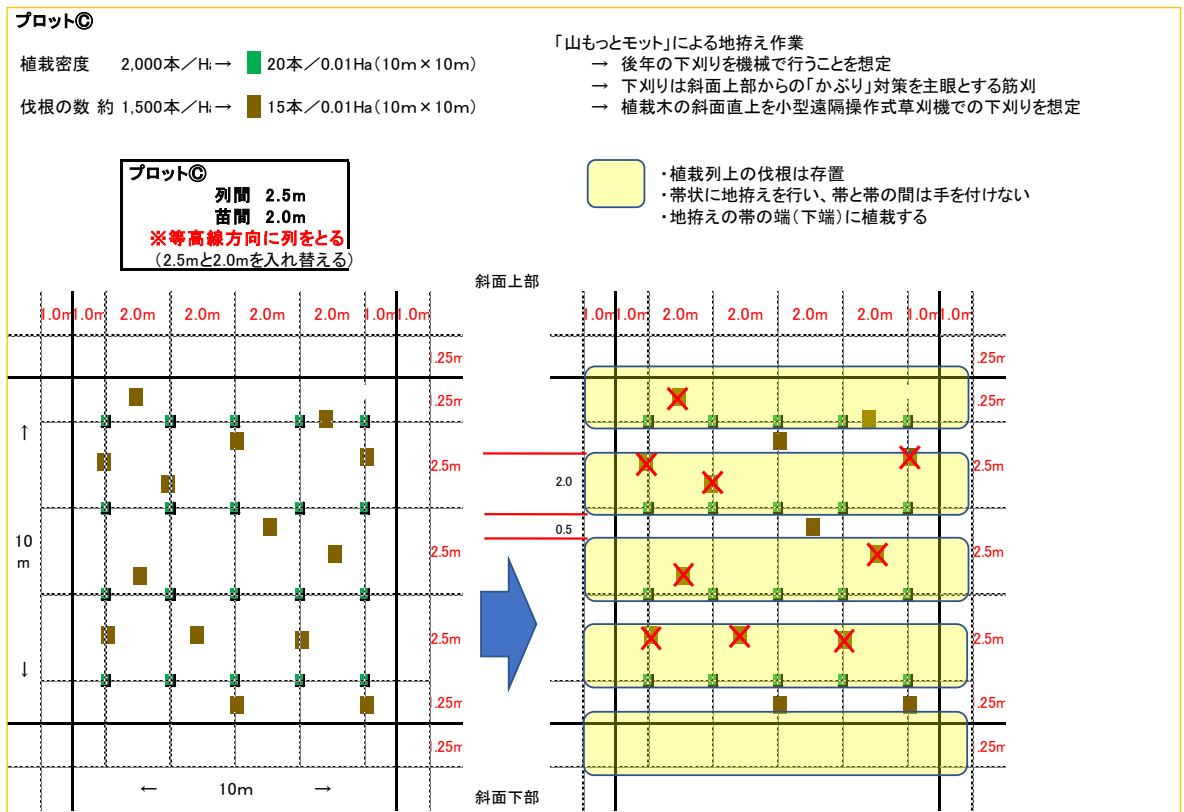


図 3.2 伐根と植列に注目した処理方法の模式図 (上段: プロットC、下段: プロットD)

3.2 使用機械

近年、造林作業（主に地拵え作業）を担う機械は、国内外を問わず多様な機種が開発されており、エクスカベータのヘッド装着型、トラクターアタッチメント、立位乗用型などがある（写真 3.2）。本事業の仕様書において、使用する機械に求められる機能・特徴を勘案し、キャニコム社製「山もつとモット（型式 CG510）」を実証用の機械とした。なお、表 3.2 には本事業の仕様書で造林機械に求められる機能・特徴と山もつとモットの対応を示した。また、山もつとモットの諸元を図 3.3 に示した。



エクスカベータのヘッド装着型
（IWA FUJI 社 HP より）



トラクターアタッチメント（平成 23 年度作業システム導入支援事業報告書より）




立位乗用型「山もつとモット」（伐根破碎用アタッチメント装着型）（キャニコム社 HP より）

写真 3.2 造林作業（地拵え作業）を担う林業機械


表 3.2 本実証調査で求められる機能・特徴と選定機械の対応状況

求められる機能・特徴	山もつとモットの性能	備考
伐根や枝条の破碎	オーロラ・トランプ・シェーバー（伐根破碎用アタッチメント）の装着で可能	ベースマシンに該当アタッチメントの取付けが必要
伐根や枝条の集積	残材集材アタッチメントの装着で可能	
草等の刈払い	下刈りアタッチメントの装着で可能	
乗用型	機械後部に立位で乗車	
最大傾斜 35° 程度で使用	機械の登坂傾斜は 35°、運転席の横方向の最大傾斜は 30° まで可能	



型式/ CG510 KZCY T ¥14,000,000

ベースマシン **山もつとモット** + 伐根粉砕用アタッチメント **オーロラトランプ・シェーバー**



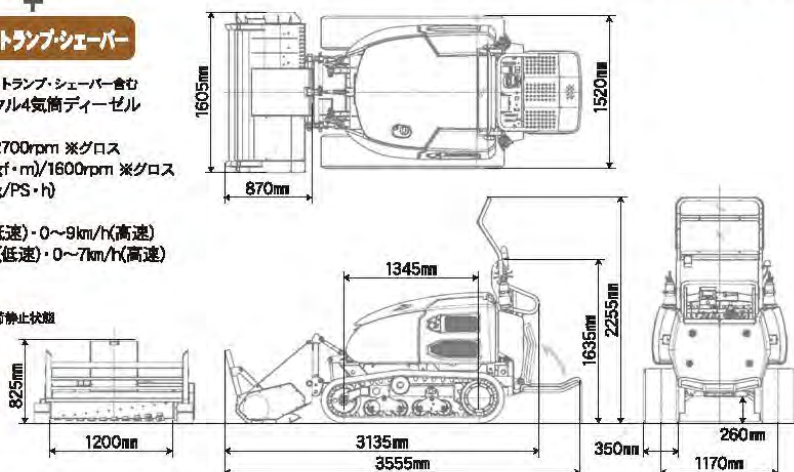
CG510 KZCY T	<div style="background-color: #e91e63; color: white; padding: 2px; border-radius: 5px; text-align: center;">山もつとモット</div> <div style="text-align: center;">+</div> <div style="background-color: #e91e63; color: white; padding: 2px; border-radius: 5px; text-align: center;">オーロラトランプ・シェーバー</div>	
機械質量 2445kg ※オーロラ・トランプ・シェーバー含む 燃料/形式 軽油/水冷4サイクル4気筒ディーゼル 総排気量 2434cc 定格出力 37.4kW(50.9PS)/2700rpm ※グロス 最大トルク 159.8N・m(16.3kgf・m)/1600rpm ※グロス 燃料消費率 246g/kW・h(183g/PS・h) 燃料タンク容量 60L 走行速度 前進: 0~6km/h(低速)・0~9km/h(高速) 後進: 0~4.5km/h(低速)・0~7km/h(高速) 最小回転半径 2m 登坂能力 35° 最大安定傾斜角度 左右 各40° ※無負荷静止状態		
<div style="background-color: #e91e63; color: white; padding: 2px; border-radius: 5px; display: inline-block;">オーロラトランプ・シェーバー</div> <p>型式/ TS1200 ¥4,000,000</p> <p>機械質量 595kg 刈高 0~370mm 刈幅 1200mm 刈刃枚数 40枚</p>		

図 3.3 山もつとモットの諸元 (出典: キヤニコム社カタログ)

3.3 検証項目

本事業の検証項目は、機械による地拵え作業と人力による地拵え作業のそれぞれの実施状況を正確に把握した上で、工期や必要経費などを明らかにすることとした。さらに、実際の機械稼働時に散見されたトラブルや安全性に関する所見なども加えて、作業成果を取りまとめることとする。

また、機械による地拵え作業においては、伐根や林地残材等の破砕物による下草生育抑制効果（マルチング効果）の有無についても把握することとした。

具体的な検証項目は、表 3.3 に示した。

表 3.3 地拵え作業の検証項目

項目	調査項目	説明
1. 地拵えの 工期把握	A) 作業種ごとの作業時間 B) 作業種ごとの必要経費 C) 作業の状況把握	A) 作業種ごとに時間を計測 B) 機械経費、消費燃料、人件費等から作業コストを把握 C) 傾斜地の機械移動、地表物・伐根の処理等の状況を、効率性、安全性の観点などから評価
2. 地拵え後 の状況把握	A) 破砕物の堆積厚 B) 植付け作業や下刈り作業への影響 把握	A) マルチング効果の把握のため破砕物の厚さを計測 B) 地拵え後の各作業の実施を念頭に、効率性・安全性などから評価