

安全かつ効率的な風倒処理

— 高性能林業機械による風倒木処理の作業マニュアル —



平成 20 年～ 22 年 新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業
「高性能林業機械を活用した風倒被害木処理システムの開発」プロジェクト



2011・国際森林年

はじめに

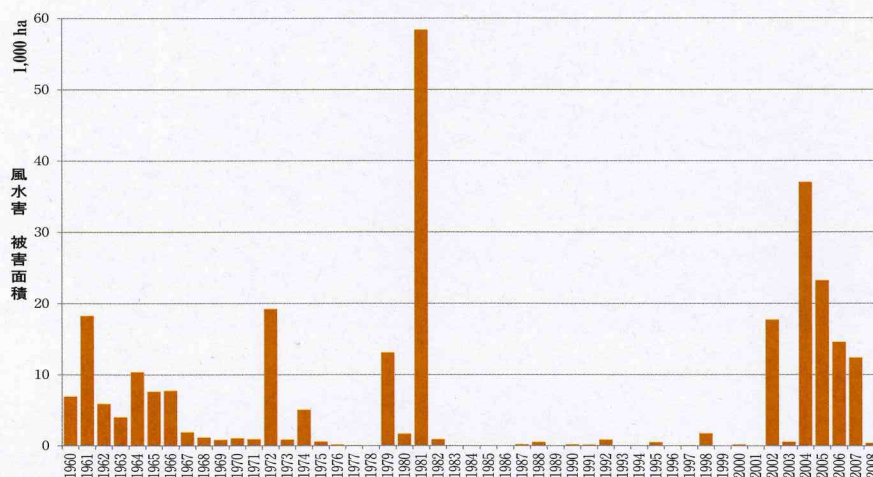
近年大規模な風倒被害が各地で発生しています。これらの林分を放置しておくと、虫害や二酸化炭素吸収源の喪失など環境に重大な影響を及ぼす恐れがあり、速やかに健全な森林に再生させなければなりません。ところが、内部に反発力を蓄えた風倒木の処理には危険が伴い、人命が失われる労働災害が毎年繰り返されています。そこで、高性能林業機械を活用した安全で効率的な処理作業システムの開発に取り組みました。このマニュアルは平成20年から22年までに実施した研究の成果を普及に向けてとりまとめたものです。

日本の森林と風倒被害

台風や発達した低気圧がしばしば来襲する日本の森林は、毎年のように風倒被害を受けています。北海道では、1954年に来襲した洞爺丸台風による風倒被害をはじめ、大きな被害をもたらす風倒被害が何度も生じています。2000年以降でも台風や低気圧によって大きな風倒被害を受けています。

近年の甚大な風倒被害例

- 1981年台風15号 55,780ha（北海道）
- 1991年台風17号、19号 22,483ha（大分県など）
- 2002年台風21号 8,418ha（北海道）
- 2004年台風18号 36,956ha（北海道）
- 2006年低気圧 5,541ha（北海道）
- 2007年低気圧 1,848ha（北海道）



北海道における風水害被害面積の推移（北海道林業統計）



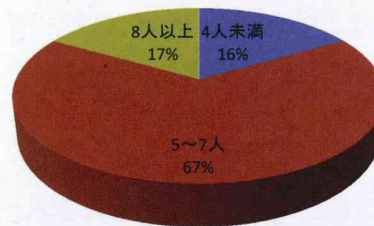
折損被害



転倒被害

従来の方法による風倒処理の問題
低い作業効率

風倒被害林の処理作業は、立木を伐採する通常の伐出作業と異なり、折損や転倒した被害木に合わせて作業を調整しながら進めなければなりません。一般的な風倒処理作業は通常の伐出作業とおなじ5～7名体制で行われていました。しかし、通常の伐採では多用される高性能林業機械は土場での枝払いや玉切りなどが中心であること、処理工程が多いこと、処理手順の調整に時間がかかること、土などの異物切断により頻繁な目立てに時間が取られるなどの理由で作業システム全体の生産性が低く、省力化が必要です。そのような中で、土そりを使って集材を効率化する取り組みが見られます。



従来作業の人員構成



グラップルローダでけん引する土そり



従来方式による処理作業の生産性の調査事例

危険な状況下での処理作業

風倒木の根株の切り離しや枝払い、玉切りなどの作業が、手持ち式のチェーンソーで行われていました。また、造材された木を林内から搬出するためにトラクタが使われますが、未処理の風倒木が残された危険な状況下での荷掛け作業がみられました。

平成 12 年から 21 年度までの 10 年間に、風倒木処理中作業に発生した林業労働災害（死亡災害）は 20 件にものぼります。右の新聞記事は、手持ち式チェーンソーで風倒木を鋸断中に発生した災害です。こうした悲惨な災害を未然に防止するため、安全性や処理能力に優れた高性能林業機械の活用が望まれますが、現行機種の間ほとんどは風倒木処理に適しておらず、間接的な利用にとどまっていた。

風倒木処理で死亡

伐採時、根元が跳ね返り

林業死亡災害が五月七日、下川町で発生した。五九歳男作（経験年数二三年）の作業員が、町有林の風倒木を伐採中に死亡した。

被災者は、同僚らと風倒木処理を行っていたが、

昼休みになっても戻らなかつたため探したところ、伐採木の下敷きになって死亡しているのが発見された。

現場では、一本の立木に、複数の風倒木が重なり合うようになり木に

なっていた。被災者がそのうちの下方の一本（胸高直径二・八m、樹高に約一七m、幹が弓なりになっていたと推測される）を根元で切断したところ、応力の関係で跳ね返りつつ被災者に激突して押しつぶされたものと考えられる。

民有林新聞 平成 19 年 5 月 31 日



上：危険度の高い風倒木処理作業
中：市街地での風倒被害
下：風倒被害林分

風倒被害と風倒木処理の問題点②

風倒木のたわみと危険

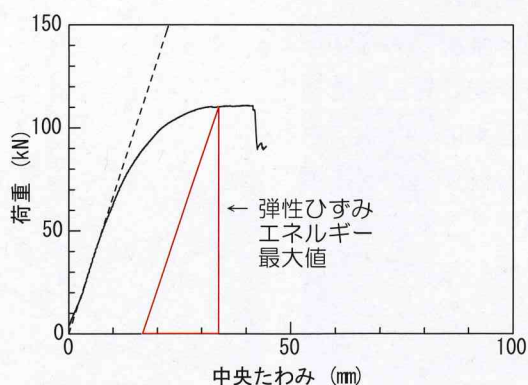
風倒被害を受けた樹木の被害形態は以下の4種類に大別されます。

- ① 根返りした転倒木
- ② 根が浮いた傾斜木
- ③ 幹が折れた折損木
- ④ 幹がたわめられたわん曲木

どの形態であっても、たわんだ状態の樹幹には通常の立木とは異なる力（応力）が蓄えられているため、伐採にあたっては通常の作業とは異なる管理が安全確保のために求められます。

たわんだ状態の風倒木は内部に大きな応力を蓄えていますので切断すると跳ね返ります。跳ね返った木が作業員に当たれば労働災害につながる事故のおそれが大きく大変危険です。

たわめられた樹幹が跳ね返るときになす仕事量は弾性ひずみエネルギーで表すことができ、これを風倒木処理の危険度の指標にすることができます。弾性ひずみエネルギーの最大値は丸太径の二乗、丸太の長さ、および曲げ強さの二乗とヤング率の比（ MOR^2/MOE ）に比例することが知られています。このうち、 MOR^2/MOE は樹種に固有の危険度指標とみることができます。

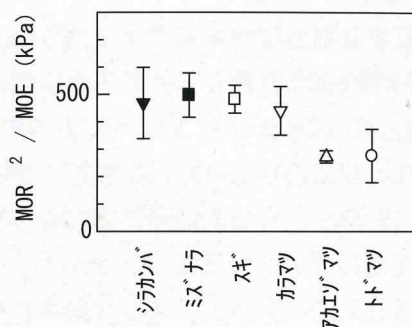


丸太の曲げ破壊試験における荷重とたわみの関係

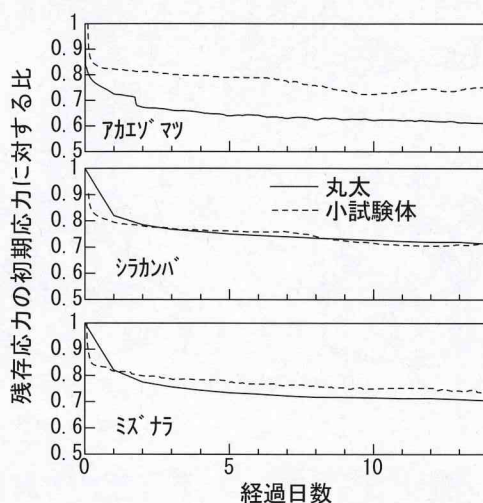
樹種別に弾性ひずみエネルギーの最大値を計測して、危険度指標を計算したところ、広葉樹のシラカンバやミズナラ、針葉樹ではスギ、カラマツで大きく、アカエゾマツ、トドマツでは相対的に小さいことがわかりました。

たわめられた樹幹の内部応力は時間が経つと減少することが知られています（応力緩和現象）。この現象を確かめるために、野外での丸太と実験室内での小さな試験体の両方で応力緩和試験を行いました。その結果、たわみで生じた応力は樹種や太さ、初期荷重の大きさに関係なく2週間程度で20%以上減少しました。風倒木の処理作業は被害発生から2週間経ってから開始する方が危険度は少ないといえます。

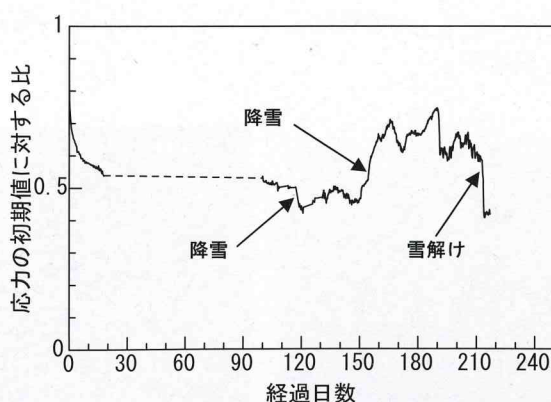
時間が経過して積雪期を経ると応力はさらに減少しますが、下図に示したように降雪の状況によっては一時的に応力が増加する場合もあり、積雪期の作業は危険といえます。また、相当期間が経過しても5割程度の応力が残っていることが予想されます。これらの危険性を念頭におきながら風倒木処理を行う必要があります。



危険度指標 (MOR^2 / MOE) の樹種別の比較



時間経過にともなう応力変化



積雪期を経たカラマツ丸太の応力変化

風倒被害林の処理作業を従来の方で行うと、大きな応力を蓄えた風倒木をチェーンソーで切断する危険な作業が伴い、処理効率も悪いことが明らかになりました。そこで、伐倒作業が安全に出来る高性能林業機械の開発と、安全かつ効率的な風倒被害木の処理作業システムについて検討しました。

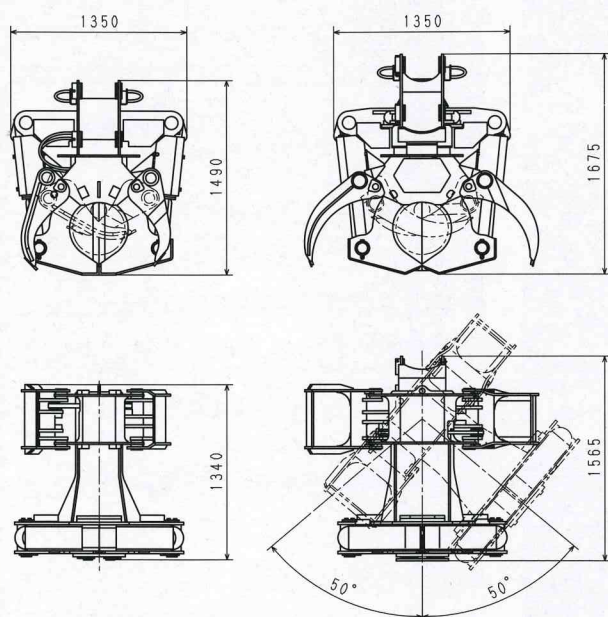


上：応力測定（小試験体）
中、下：丸太曲げ破壊試験

フェラーバンチャアタッチメントの改良

安全な風倒被害木処理作業のためには、ハーベスタなど自走式高性能林業機械の利用が望めます。ところが風倒処理の場合、土砂の切断やわん曲した木の内部応力によるチェーンソー部分の損傷や被害木の引き起しによる枝払い刃の破損などが頻発するため、高性能林業機械の利用は進んでいません。このような問題を解決し、風倒木処理作業に適したアタッチメントとして、切断にチェーンソーを使わないハサミ式フェラーバンチャ（イワフジ工業製G F-40CA 既存機）をベースに、アタッチメント全体を左右方向にスイングする機能を付加するとともに、グラップルの tong を大型化し、強度強化を施した改良機を開発しました。

その結果、傾斜木や転倒木の把持や切断が容易で、より広い作業条件で使用可能なアタッチメントに改良することが出来ました。改良機は、風倒処理以外にも、グラップルで伐採した立木の整理作業が可能になるなど一般の伐倒処理作業でも威力を発揮するようになりました。



既存機

改良機

設計図

GF-40CA 改良機 諸元

切断形式	油圧鋏式
最大切断直径	φ 400 mm
グラップル 最大開幅	1660 mm
最小つかみ径	φ 110 mm
最大許容荷重	1,000 kg
重 量	1,670 kg
適用ショベル バケットサイズ (新JIS)	0.5 m ³



スイング時

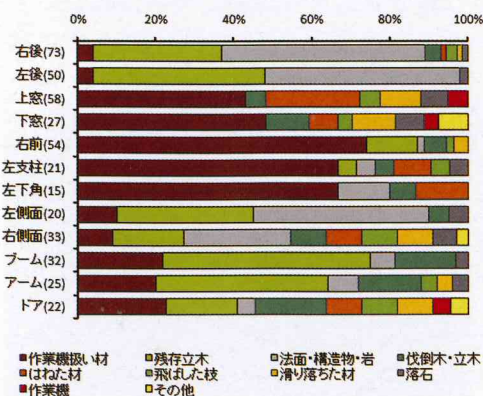


標準時

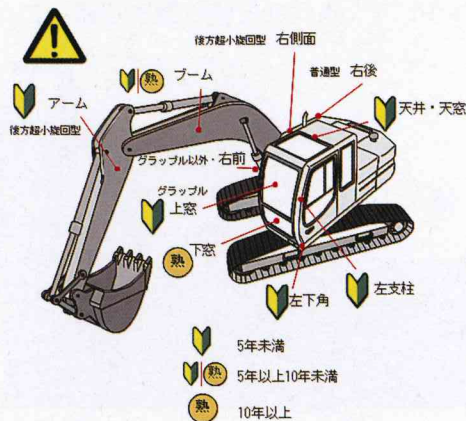
GF-40CA 改良機

キャビン保護装置の改良

高性能林業機械やグラップルローダを使用しているオペレータを対象として、風倒木処理を含む伐木造材作業で生じたヒヤリハット事例や車体の損傷事例を調査しました。その結果、機械の種類に関わらず作業機が扱う材により、キャビン前方窓やキャビン左側支柱、左下角への衝突が多発していることを明らかにしました。また、オペレータの習熟度によって損傷部位が異なることも明らかになりました。



林業機械の損傷部位とその原因



機械の種類やオペレータ習熟度別の損傷警戒部位

キャビン内のオペレータを効果的に保護するには、損傷事故が起きやすい前方窓全面とキャビン左側支柱や左下角を保護すべきです。

そこで、保護範囲が広く輸送に支障のないようなキャビン保護装置を試作しました。まず、市販されている前面ガードよりも全幅を広げ、ガードの格子間隔を拡大し、格子の裏側にポリカーボネートを設置しました。輸送時に車体幅内に収めるようガードを開いた状態で固定できるようにしました。その結果、損傷事故の多い前方窓全面と運転室左側の支柱を同時に保護し、輸送時に問題なく、小さな飛来物による窓ガラスの損傷を防ぎながらオペレータの視界を改善したキャビン保護装置となりました。



作業時



輸送時

試作したキャビン保護装置



上、中：フェラーバンチャの伐倒作業
下：キャビン保護装置（輸送時）

風倒被害処理が可能な集材装置（クローラカート）の開発

伐採作業を考えるうえで、集材工程は作業全体の効率性を左右する最も重要な要素の一つです。風倒処理作業においても、その規模や条件によっていくつかの集材方式が選択されます。本研究では、北海道の伐採現場の工夫で発展してきた土そりなどの集材技術をもとに、クローラ足回り（無駆動）と4自由度ジョイント（着脱可能・可変長）を採用し、様々な集材方法（全木・全幹・短幹）に対応したクローラカート型集材装置の開発・改良を行いました。



全木・全幹用



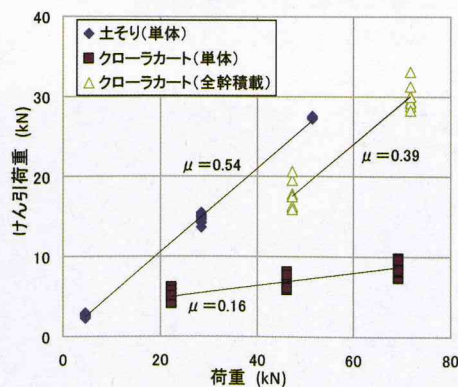
短幹用

クローラカート

クローラカートは、グラップルローダに連結して作業する集材装置です。シンプルな構造の装置ですが、強力なグラップルを備えたスキッドやフォワーダと同等の機能（走行速度を除いて）を実現します。けん引抵抗は、トラクタと比べて半分、土ソリと比べても 2/3 程度と小さいことから、より小さな力で集材でき、スリップなどに起因する土壌攪乱も小さくて済みます。また、一度に 10 m³ 以上の集材が可能で、間伐など一般の伐出作業にも有効な集材装置です。



4 自由度ジョイント



けん引抵抗の比較

開発協力

有限会社 井出重機鉄工

〒080-1408

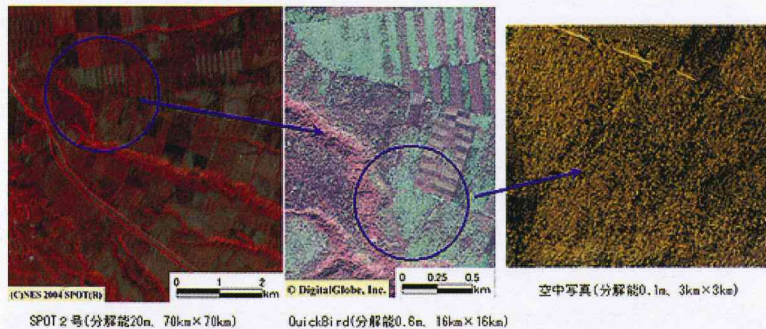
北海道河東郡上士幌町字上士幌東2線246番地

Tel (01564) 2-2134 Fax (01564) 2-2810

リモートセンシング技術や GIS による処理作業の支援

風倒被害木を安全かつ効率的に処理するには、風倒被害を受けた林分に関する情報が必要です。風倒被害の情報をリモートセンシング等の技術を使ってどのように把握して整理するか、取得した情報から風倒被害の優先順位をどのように示すのかについて検討しました。

衛星画像や空中写真、地形データ、森林調査簿などの各種データソース毎に把握可能な被害特性（面積単位や形態など）を調査し、既存の研究事例を参考にしながら風倒被害の判読特性表を作成しました。風倒被害が発生した際、適切な情報収集法の検討に役立つと期待されます。



広域 <<

>> 詳細

空間解像度から見たリモートセンシング技術の特徴

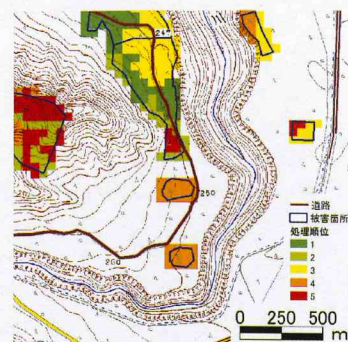
風倒被害の判読特性表（抜粋）

画像	特徴	利用法	留意点(課題)
衛星画像	・広範囲の被害状況を短時間に判読可能 ・リモートセンシング解析ソフトによる被害把握結果を森林GISに取り込むことで、被害箇所の図面化が容易	・広域の被害状況を速報で把握	・画像取得が天候に大きく左右 ・分解能が空中写真より劣る衛星が多く、被害形態の把握は困難
空中写真	・衛星画像に比べると天候の影響少 ・撮影高度を調整することで被害形態等を含めた詳細な被害把握が可能	・単木単位の被害、根曲がり、幹折れ等の被害形態把握	・衛星画像に比べて解析処理に時間が必要 ・広範囲の被害把握には不利
LIDAR	・高さを直接把握可能 ・地表面の凹凸を高精度に把握可能	・小規模な被害把握 ・高精度の被害量推定(特に蓄積)	・データ取得に高額な費用 ・位置精度の高い地上データが必要

判読特性表を参考に、安全で効率的な被害木処理に必要な情報項目を検討し、それを整理する資源表を試作しました。さらに、安全性や作業効率、処理した材の利用等重視する目的に応じた処理優先順位の考え方（モデル）を検討し、資源表のデータを用いて優先順位を算出し図示する手法を開発しました。風倒被害に関する資源表や優先順位モデルは、安全で効率的な風倒木処理計画を立案する際に役立つと期待されます。

風倒被害箇所の資源表（抜粋）

ID	被害形態	樹種	林齢(年)	標高(m)	傾斜角(度)	傾斜方向(度)	風倒木方向(度)	道路からの距離(m)
1	根返り	トドマツ	25	269	9	10	250	113
2	中折れ	トドマツ	30	356	23	354	10	390
3	根返り	カラマツ	35	265	7	240	30	146
4	中折れ	広葉樹	60	452	29	46	340	395
5	中折れ	広葉樹	35	464	33	148	150	432
.
.
.



機械作業性を優先した処理順位図



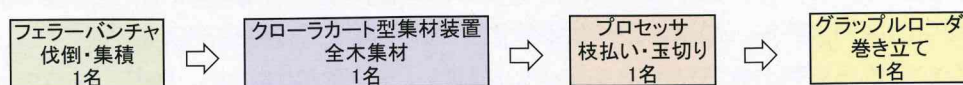
上：広葉樹の全木集材

中：風倒被害林分の斜め空中写真

下：風倒被害林分の傾斜区分

風倒被害木処理作業の流れ

被害が大規模な場合は、処理作業を効率的に進めるため全木集材システムが有利と考えられます。全木集材システムは、はじめに油圧ハサミ式フェラーバンチャで被害木を伐倒・集積し、次にクローラカート型集材装置により土場まで全木集材を行い、プロセッサで枝払い・玉切りする流れです。4 台の機械と 4 人のオペレータを想定しています。



全木集材システム

被害が小規模で分散して発生した場合は、残存木の損傷防止に配慮した短幹集材システムを適用することができます。短幹集材システムは、フェラーバンチャで伐倒・集積した後、プロセッサにより林内で枝払い・玉切りを行い、クローラカート型集材装置で土場まで短幹集材を行います。その際、短幹集材用のクローラカートを利用します。短幹集材の場合も 4 台の機械と 4 人のオペレータを想定しています。



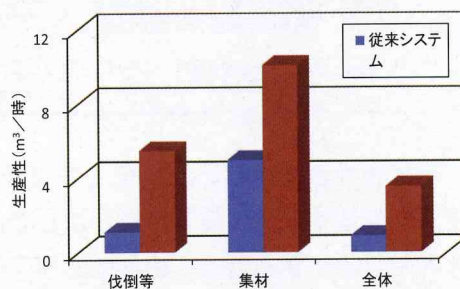
短幹集材システム

ケーススタディ

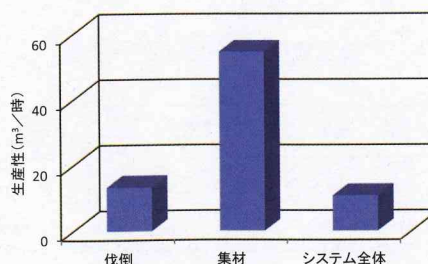
作業事例 1（全木集材システム）

2004 年の 18 号台風で被害を受けた 44 年生カラマツ人工林で、全木集材システムによる処理作業を行いました。傾斜木が被害全体の約半数を占めていましたが、フェラーバンチャで問題なく伐倒処理することができました。システムの生産性は、チェーンソー、トラクタ等を用いる従来システムに比べて 4 倍程高い $3.6\text{m}^3/\text{時}$ で、処理コストも 3 割程度減少しました。

開発したシステムは風倒被害木の処理だけではなく、通常の間伐作業や広葉樹の伐採作業にも適用することができます。たとえば、ハルニレやシラカンバなどの広葉樹林で皆伐作業を行った事例では、 $10.8\text{m}^3/\text{時}$ という高い生産性をあげることができました。



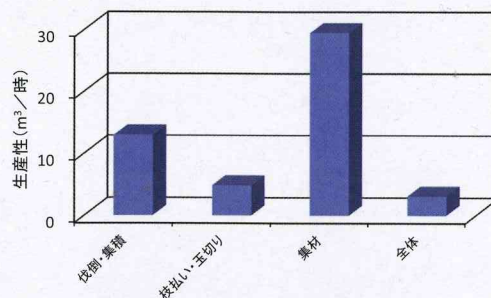
全木集材システムの生産性



広葉樹伐採作業の生産性

作業事例2（短幹集材システム）

前事例と同じ台風で被害を受けた広葉樹二次林と48年生カラマツ人工林などで、短幹集材システムによる処理作業を行いました。転倒（根返り）と折損（幹折れなど）被害がみられましたが、フェラーバンチャですべて処理することができました。生産性は、伐倒・集積工程 $12.9\text{m}^3/\text{時}$ 、枝払い・玉切り $4.8\text{m}^3/\text{時}$ 、集材 $29.5\text{m}^3/\text{時}$ 、作業全体では $3.1\text{m}^3/\text{時}$ でした。



短幹集材システムの生産性

被害木の活用事例（北海道の旭川市、美瑛町、美幌町などでの取り組み）

被害後の経過年数が短い場合、もめ等の欠点の少ない被害木からは一般材やパルプ材を生産することができます。大きく傾斜したカラマツは、根が地面についていれば被害発生から3年程度経っても用材として利用することが可能な場合がみられました。

一方、被害後の経過年数が長く用材生産が困難な場合は、バイオマス資源として利用することができます。この場合、土場まで搬出された被害木を移動式チップパを用いて粉碎・チップ化します。出力150～200kwクラスの比較的大型の機種を用いると、投入材の大きさや腐朽の進み具合にもよりますが1日当たり 120m^3 程度のチップを生産することが可能です。こうして生産されたチップは、そのままの形で製紙工場に搬入され大型チップボイラの燃料や牛舎の敷き料として利用することができます。また、ペレットにして地域の温泉施設や温水プールのペレットボイラ用燃料や、学校などのペレットストーブにも利用する取り組みもみられました。



風倒木のチップ化



チップボイラ



牛舎の敷き料



ペレットストーブ



上：ペレットの製造
中：敷き料の堆肥化
下：ペレットストーブを利用する施設

風倒被害・機械作業に関するウェブサイト

林業・木材製造業労働災害防止協会 <http://www.rinsaibou.or.jp>

社団法人 林業機械化協会 <http://www.rinkikyo.or.jp>

社団法人 北海道林業機械化協会 <http://www.h-rinkikyo.or.jp>

気象庁：災害をもたらした気象事例

<http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/report/index.html>

「高性能林業機械を活用した風倒被害木処理システムの開発」プロジェクト
参画機関



独立行政法人
森林総合研究所
北海道支所

〒062-8516
北海道札幌市豊平区羊ヶ丘7番地
TEL：011-851-4131 FAX：011-851-4167
www.ffpri-hkd.affrc.go.jp



独立行政法人
森林総合研究所
林業工学研究領域

〒305-8687
茨城県つくば市松の里1
TEL：029-873-3211 FAX：029-874-3720
www.ffpri.affrc.go.jp



地方独立行政法人
北海道立総合研究機構
林業試験場

〒079-0198
北海道美幌市光珠内町東山
TEL：0126-63-4164 FAX：0126-63-4166
www.fri.hro.or.jp



国立大学法人
北海道大学
農学部森林科学科

〒060-8589
北海道札幌市北区北9条西9丁目
TEL：011-706-2531
www.agr.hokudai.ac.jp/gs/research/env.html#3

イワフジ工業株式会社
開発部

〒023-0872
岩手県奥州市水沢区桜屋敷西5-1
TEL 0197-23-8501 FAX 0197-22-2680
www.iwafuji.co.jp

このマニュアルの質問受付窓口機関は森林総合研究所北海道支所と北海道立総合研究機構林業試験場です。

発行日 2011年3月4日

編集発行 「高性能林業機械を活用した風倒被害木処理システムの開発」プロジェクト

印刷所 (株)プリコム旭川

2010年現地検討会 当麻町

