

論文 (Original article)

遠隔操作機能と自動走行機能によるフォワーダの操作支援技術の開発

毛綱 昌弘^{1)*}、山口 浩和¹⁾、伊藤 崇之¹⁾、鈴木 秀典¹⁾、千坂 修²⁾、
高崎 綾信²⁾、草野 兼光³⁾、北原 成郎⁴⁾

要旨

フォワーダ運転手の労働負担低減を目的として、運転席に搭乗せずに操作可能な遠隔操作機能を開発した。運転手はフォワーダに搭載されたカメラからの映像情報をモニターで確認しながら、走行および荷役の各種作業が操作可能である。さらに、フォワーダに自動走行機能を付加することで、走行操作時には操作不要となる改造を実施した。運転手が作業道を一度運転操作することで、作業道走行中の運転操作量および作業道の線形を記憶し、自動走行時には記憶した操作量を再現することで自動走行機能を実現している。自動走行時にはスリップ等の外乱によって走行軌跡から外れるため、GNSS 測位情報を用いて操作量を補正している。この試作機を用いて、作業現場における実証試験を実施した。遠隔操作機能については、走行操作および荷役操作ともに、搭乗操作に比べ遠隔操作は作業能率が低下したが、被験者からは快適性および安全性に関して高評価が得られた。自動走行機能に関しては、間伐作業地において、自動走行時の制御誤差を補正するために必要なGNSS 計測精度を確保できず、作業道の作設指針に沿った幅員では走行不可能な制御誤差が確認された。これらの結果から、試作機を用いて作業可能な現場は限定的ではあるが、運転手の労働負担を減らす一手法であることが確認できた。

キーワード：フォワーダ、労働負担、GNSS、自動走行、遠隔操作

1. はじめに

従来の架線集材作業に代わって、森林作業道を開設し先山にプロセッサ等の造材機械を導入し、短幹材をフォワーダで運搬する作業方法が定着してきている。この作業方法では、森林作業道を開設しながら作業を進めるため、作業が進むにつれフォワーダの走行距離が長くなり、作業能率が低下するとともに、フォワーダ運転手の過大な労働負担が問題となってきた。森林作業道は林業専用車両でなければ走行不可能なオフロードであり、路面の凹凸、横断排水溝、勾配等の影響により運転席の振動、騒音等は激しく、フォワーダの長時間運転は過酷な労働である。集材距離が延びることによって運転時間が長くなり、運転手の集中力が低下すれば、作業道からの逸脱、転倒等の危険性が増すことになる。フォワーダ等の積載型集材車両による重大災害は年数件以上発生しており(林業・木材製造業労働災害防止協会 2016)、事故を防ぐためにも作業環境の改善は必須の課題である。

このような作業環境下におけるフォワーダ運転手の労働負担を低減させるため、フォワーダの運転操作を搭乗せずに離れたところから行える遠隔操作機能の開発を行った。本報告において開発した遠隔操作機能では、単に離れたところからフォワーダの操作を行うの

ではなく、運転手からフォワーダが視認できないような状況下においても操作可能となるように、フォワーダに搭載されたカメラからの映像を運転手がモニターで確認しながら操作する機能である。運転手は土場等に設置される遠隔操作室内において、フォワーダの運転席に装備されているジョイスティック等と同じ操作装置を用いて、フォワーダを遠隔操作して走行、荷役等の作業を行うことになる。遠隔操作室内は振動、騒音等が発生せず、空調機器が備えられており、操作環境は快適である。

さらに運転手の労働負担を低減することを目的として、遠隔操作機能付きフォワーダに自動走行機能を付加した。自動走行機能は全球測位衛星システム(Global Navigation Satellite System : GNSS、以降 GNSS と記す)測位情報を利用しているため、森林内では使用可能な場所が限定される。遠隔操作でフォワーダを走行操作中に、自動走行可能な区間ではフォワーダを遠隔操作から自動走行に切り替えて使用する。GNSS 測位情報が十分な精度を確保できないような区間では自動走行が不可能となるため、フォワーダは自動停止するとともに、運転手は自動走行から遠隔操作に切り替えて、フォワーダの走行操作を続けることになる。自動走行機能は、フォワーダ運転手に代わって走行操作を行う

原稿受付：平成 28 年 8 月 10 日 原稿受理：平成 28 年 11 月 28 日

1) 森林総合研究所林業工学研究領域

2) IHI 建機株式会社

3) JMU ディフェンスシステムズ株式会社

4) 株式会社熊谷組

* 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



Fig. 1. 試験機概況
Overview of prototype

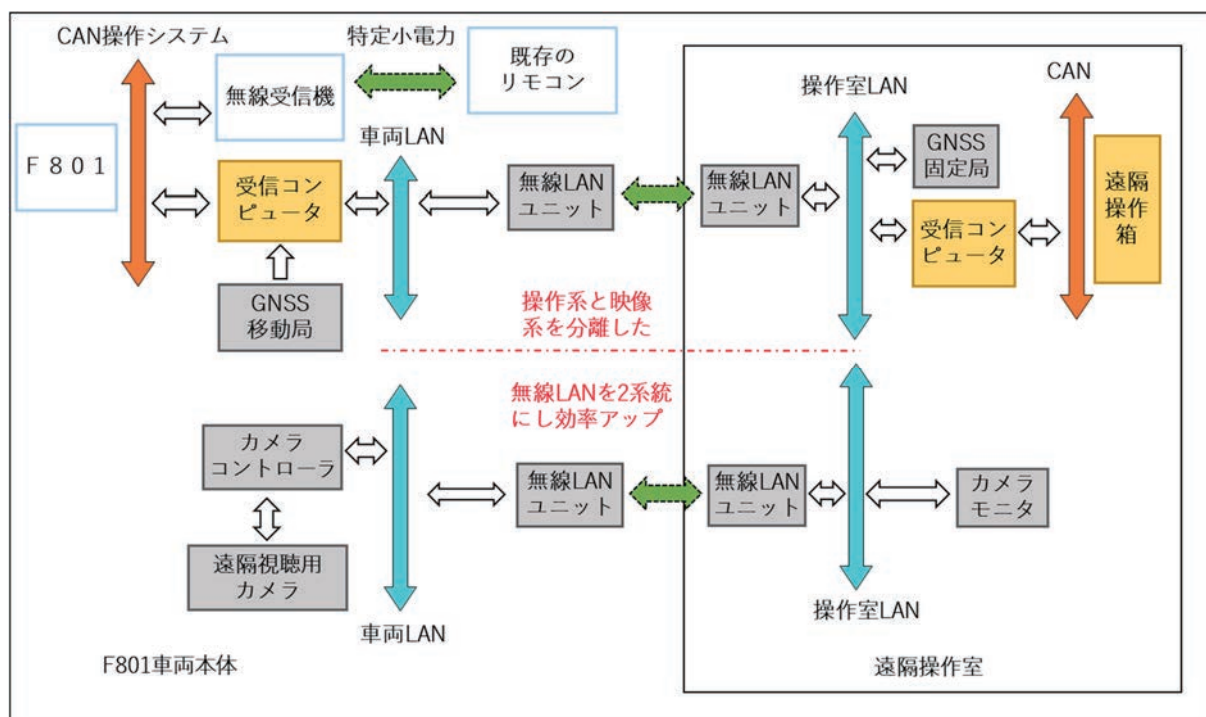


Fig. 2. 試作システム概況
Prototype system overview



Photo 1. ビデオカメラモニタ
Video camera monitors



Photo 2. 遠隔操作箱
Remote control box

補助的な役割を果たす機能であり、完全な無人化として機能するわけではない。

林業機械に関する遠隔操作に関する研究は、筆者らが油圧ショベルにグラップル作業機を装備した機械を用いて試作開発した例がある（森林総合研究所 2006）。また、デッドレコニング方式による林内作業車を用いた自動走行技術の開発例がある（毛綱・山口 2000）が、実用化にまでは至っていない。本課題では完全な無人化を目標とするのではなく、作業の一部だけでも自動化することによって、作業員の労働負担を改善し、林業機械の高度化を目指すことを目的としている。

試作したフォワーダを用いて、遠隔操作機能および自動走行機能に関する実証試験を実施した。試験地には、皆伐施業地および間伐施業地の二か所を設定することで、GNSS 測位精度に影響を与える開空度の影響を調べた。実証試験内容は、搭乗操作および遠隔操作によって集材作業を行うことで、作業能率の比較を行うとともに、被験者に対してアンケート調査による操作性、安全性の調査を行った。また、自動走行機能に関しては、走行速度、積載量、曲率等の各種条件を変更して、自動走行時のフォワーダの走行軌跡を計測することで、制御誤差の検出を行い、森林作業道に求められる幅員、曲率等の検討を行った。

2. 試作機の概要および試験方法

2.1 フォワーダ

試作機には、IHI 建機株式会社製フォワーダ F801 無線機仕様を使用して、各種の改造を実施した。本機はフォワーダの走行操作およびグラップルローダによる荷役操作等、すべての操作を搭乗操作以外に、離れたところから無線機によって操作可能な車両である（藤井 2012）。無線機による操作はオペレータからフォワーダが目視可能な範囲での使用を想定している車両であり、車両の制御は CAN（Controller Area Network）バスを介して行われていることから、無線機からの信号を

CAN バスに伝えることで制御が行われている。本報告において実施した改造も、遠隔操作、自動走行機能とも同様に、CAN バスに制御信号を送ることで実現できることから、本機を選択した。

F801 はアーティキュレート方式の操向機構を採用しているため、前車体と後車体の間の角度をセンサで検出するとともに、自動走行時には、車載コンピュータからの目標角度に追従できるようにフィードバック制御を行っている。遠隔操作用として、車両には 4 台のカメラを車体前後左右方向に装備するとともに、ナックルブーム操作用のカメラをブームの根元に装備している。また、運転席の屋根には GNSS アンテナおよび無線通信用のアンテナを装備している。GNSS 受信機には Applanix 社製 POS LV V5 を使用した。後述する遠隔操作室の GNSS 固定局とともに、RTK（Real Time Kinematic）測位で利用している。

試作機の外観図とともに車載カメラの取付状況を Fig.1 に示す。

2.2 遠隔操作機能

遠隔操作機能のシステム概要図を Fig.2 に示す。遠隔操作室には市販のユニットハウスを利用している。遠隔操作室は、GNSS 固定局、モニタ、遠隔操作箱等から構成される。遠隔操作室では、Photo1 に示すようにカメラモニタを配置し、3 台のカメラに対して、3 台のモニタでフォワーダの周囲環境を確認可能としている。中央のモニタは前進時には前方方向、後進時には後方のカメラ、荷役操作時にはブームに装備したカメラに切り替え可能である。上の 2 台のモニタは固定カメラ用のモニタであり、森林作業道の路肩に複数台のカメラを設置し、切り替え可能としている。無線通信機器には、無線 LAN を使用している。Fig.2 に示すように、カメラ映像通信用とデータ通信用の 2 系統に分けることにより、通信帯域を確保している。

試作した遠隔操作箱を Photo2 に示す。使用している

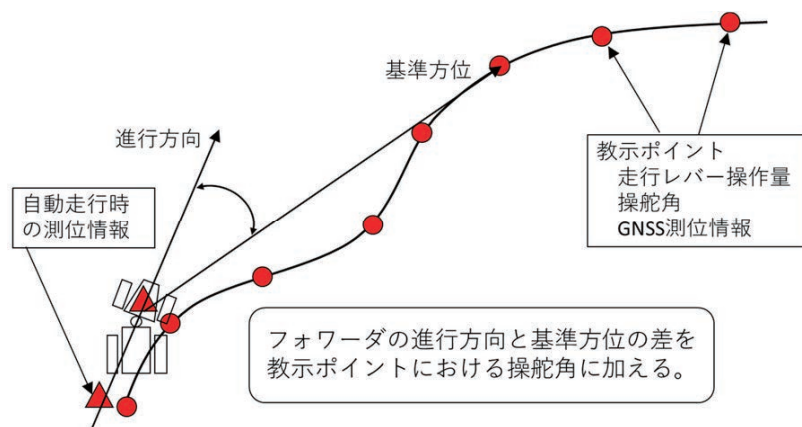


Fig. 3. 自動走行アルゴリズム
Automated traveling algorithm

ジョイスティックには F801 の運転席と同じものを使用しており、この 2 本のジョイスティックで搭乗時と同様の操作が可能となっている。また、自動走行等に関する各種スイッチも本操作箱に装備されている。

2.3 自動走行機能

フォワーダを用いた集材作業においては、一日の作業では同じ作業道を繰り返し往復走行することが一般的であり、横断排水溝、縦断勾配、曲率等に応じて適切な速度で走行することが望ましいことから、自動走行機能は運転手による走行操作方法を模倣する方法とした。最初に、運転手がフォワーダを運転操作して森林作業道を走行させることで、このときの操作情報を車載コンピュータが記憶する。このとき、運転操作は搭乗操作でも遠隔操作でも、どちらでも構わない。この操作を教示走行と呼ぶ。記憶する情報は、車両の走行速度を調整するためのレバーの操作量、車両の操向を調整する操舵角であり、遠隔操作箱のジョイスティックを用いて運転手が入力している情報である。また同時に、GNSS 測位情報の記憶も行う。二回目の走行からは自動走行可能となり、走行開始位置を教示走行時と同じ位置とし、記憶した操作情報を時系列的に再現することによって、自動走行機能を実現している。自動走行時にはスリップ等の外乱等によって、走行軌跡から外れることがあるため、教示走行時の GNSS 測位情報とリアルタイムで比較することで、走行誤差の修正のためのフィードバック情報として利用している。本機能の模式図を Fig.3 に示す。

自動走行時における GNSS 測位情報からフォワーダの進行方位を求めるとともに、現在位置と数点先の教示ポイントから基準方位を求める。この方位角差を、現在位置における操舵角に加えることによって、目標とする操舵角を求めた。教示ポイントは 25ms おきに計測している。何点先の教示ポイントを使用するかに関しては、走行試験を重ねることによって調整を行っ

た。その結果、誤差を最も小さくできる 40 点先のポイントを用いて基準方位としており、現在地から 1 秒後の目標値、走行速度 7.2km/h では 2m 先の目標値を基準方位として使用している。

2.4 試験方法

遠隔操作試験では、走行操作および荷役操作を、同じ作業員で搭乗操作して行う場合と遠隔操作で行う場合の作業時間を計測することで、作業能率の比較を行った。被験者は鹿児島試験地が 2 名（被験者 A、B と表記）、新城試験地が 3 名（被験者 C、D、E と表記）の計 5 名であり、各森林組合の職員である。経験年数は 5 年から 12 年、年齢は 26 歳から 39 歳であった。試験終了後には、アンケート調査を行い、遠隔操作機能に関する評価を集約した。

自動走行試験では、教示走行時と自動走行時の走行軌跡を比較することによって制御誤差の計測を行った。計測には自動追尾式のトータルステーションを用いてフォワーダの走行軌跡を計測した。試験地における実証試験を行う前に、比較試験用として、舗装された駐車場において自動走行試験を実施した。

3. 結果および考察

3.1 試験地設定

試作機の実証試験は、かごしま森林組合および新城森林組合の施業地において実施した。自動走行時の制御誤差修正機能に GNSS 測位情報を使用していることから、かごしま森林組合の現場では開空度が高く GNSS による測位精度が十分に得られる皆伐施業地（以下、鹿児島試験地）を選定し、比較対象として、新城森林組合の現場では伐採率 30% の間伐施業地（以下、新城試験地）を選定した。鹿児島試験地では、自動走行試験用として約 280m の周回路を設定するとともに、遠隔操作試験用として 430m 程度の周回路を設定した。新城試験地では、斜距離約 280m の作業道を使用して

試験を行った。

3.2 遠隔操作試験結果

遠隔操作試験調査地の概要を Table1 に、路線図を Fig.4 および Fig.5 に示す。鹿児島試験地では被験者 A と B の 2 名が走行を 1 回ずつと、被験者 A が積み込み、被験者 B が荷下ろし作業をそれぞれ搭乗操作および遠隔操作で行った。新城試験地では被験者 C と D が登り走行および下り走行ならびに積み込みおよび荷下ろし作業を 1 回ずつ行い、被験者 E が荷下ろし作業を 1 回行った。

結果を Fig.6 に示す。全ての作業における全ての作業で遠隔操作の方が時間を要していた。作業時間倍率は遠隔操作作業時間÷搭乗操作作業時間で計算され、作業による遠隔操作の難しさを表す指標となると考えられる。本指標を用いると、全体的な傾向としては、走行操作より荷役操作の方が難しく、荷役作業の中では荷下ろし操作より積み込み操作の方が難しく、走行の中では上り走行より下り走行の方が難しいという結果となった。

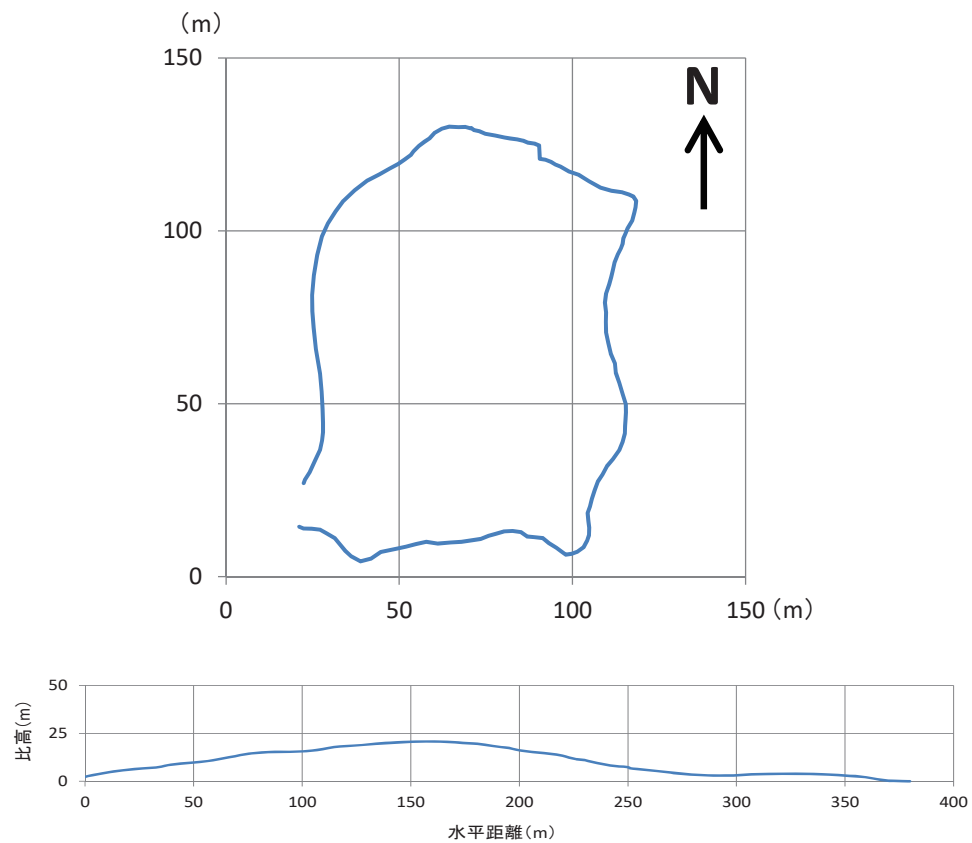
走行操作について (Table2) は、新城試験地の登り走行が作業時間倍率 1.2 ～ 1.3 でそれほど遠隔と搭乗に差が無い結果となった。一方で下り走行は 2.3 ～ 2.4 と倍率が大きく、登りと下りが混在する鹿児島試験地はその中間となった。新城試験地については搭乗操作では登り走行と下り走行の走行速度はほぼ同じであるが、遠隔操作では下り走行の走行速度低下が大きかった。

荷役操作 (Table3) については、遠隔操作は作業時間が長いだけでなくサイクルごとのばらつきも大きく、作業の難しさを示す結果となった。全体的に遠隔操作は搭乗操作に比べて 3 ～ 6 倍時間がかかっていたが、一部では 2 倍以下で行えた場合もあった。1 サイクル当たりの把持本数は全体的には遠隔操作の方が少なくなり、作業完了までのサイクル数は遠隔操作の方が多くなる傾向があった。しかし、把持本数が多くサイクル数が少ない場合もあり、この場合には作業倍率時間が 2 倍以下であった。

最後に、作業者に対するアンケート調査を行い、遠隔操作についての作業者の感覚や評価を集約した。走行作業に関しては被験者 4 名、荷役作業に関しては被験者 5 名に対して、操作性、安全性、生産性、疲労度、快適性に関して 5 段階で評価してもらうとともに、作業の習熟や精度に関して自由記述してもらう方法とした。調査結果を集計すると、機械の操作性、作業精度、疲労度については評価が低く、快適性については高評価となった。安全性については作業者自身に対しては高評価であるが、周囲の人間に対しては低評価であった。評価が高い項目は機械に搭乗することによって起こる振動・騒音や事故リスクから切り離されることに対するものであり、評価の低い項目はモニタを介して対象物を目視することによる状況把握の困難さおよび操作性の悪化、それに伴う心身の疲労に対するものであった。また、自由記述式のアンケートからは、①習熟が難しい②視認性が低い③音情報についての要望、の 3 点について意見が多く見られた。習熟については、

Table 1. 調査地概要
Study site Overview

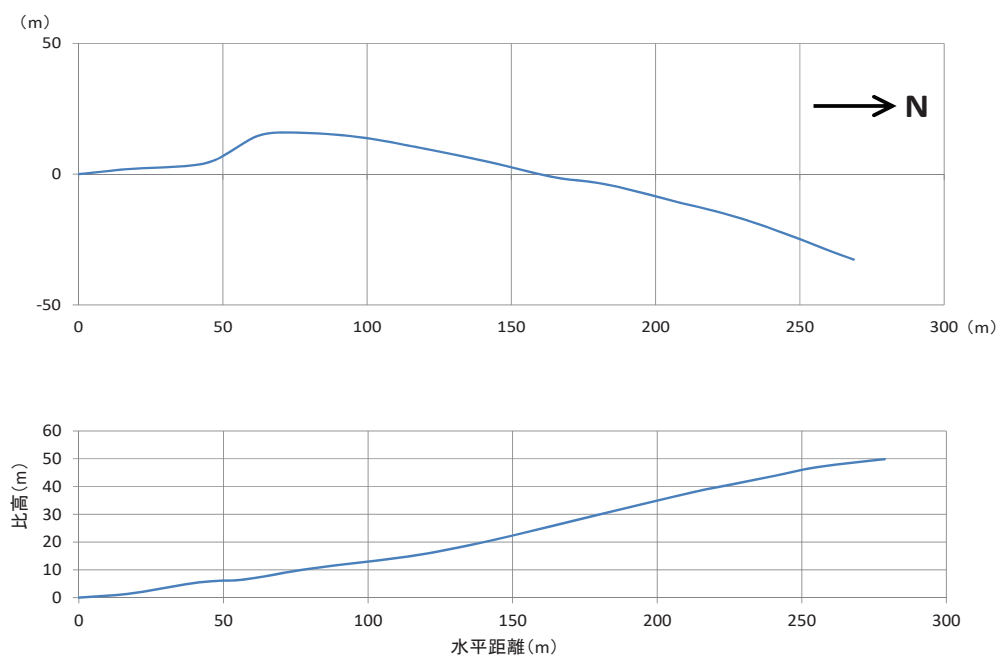
試験地	鹿児島	新城
場所	鹿児島県指宿市開聞十町	愛知県新城市作手清岳
走行距離	1 周約 430m の周回路を 3 周	全長 283m、登り走行と下り走行
高低差 (m)	21	50
最大傾斜	10.8 度 (登り) -13.5 度 (下り)	11.9 度
積載本数	22	38
積載材積 (m ³)	4.16 (末口二乗法)	4.24 (中間断面積×長さ)
伐採方法	皆伐	間伐 (本数伐採率 30%)
作業実施人数	2	3



(上：平面図、下：縦断面図)

注) コースの左下一部欠測

Fig. 4. 鹿児島試験地路線図
Kagoshima test land route map



(上：平面図、下：縦断面図)

Fig. 5. 新城試験地路線図
Shinsiro test land route map

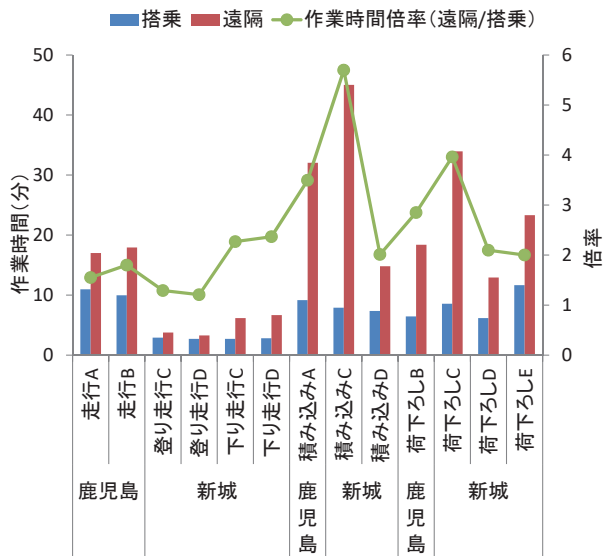


Fig. 6. 遠隔操作および搭乗操作による作業時間および時間倍率

Working time and time magnification by remote control and boarding operation

慣れるまでに相当な時間を要すること、慣れたとしても搭乗操作の作業能率を超えるのは困難ではないかといった意見が寄せられた。視認性については距離感がつかみにくい、死角が多く周囲の状況が分かりにくいといった意見があり、カメラの装備位置、画角、個数等に関して更なる検討が必要である。音情報については、エンジン等周囲の音が作業者の状況判断材料の一つになっているということであり、騒音からの隔離は遠隔操作について高評価を受けた項目ではあるが、ある程度の音は作業者に聞こえるような対策を施す必要がある。

3.3 自動走行試験結果

自動走行の実証試験は、新城試験地では実施できなかった。これは、開空度が低く RTK 測位が不可能であったため、GNSS による測位誤差が大きく、自動走行時の制御誤差を修正するまでの精度で車両位置を検出することが不可能であったためである。このため、自動走行実証試験は鹿児島試験地でのみ行った。

鹿児島試験地における実証試験の前に、開空度が十分に確保されるアスファルト舗装された駐車場において、制御ソフトウェアの調整を行うとともに、走行試験を実施した。Fig.7 に駐車場における試験走行路の形状を示す。試験条件として、曲率を 3 種類（曲線部内側直径 5.0m、7.5m、10.0m）、目標走行速度を 3 種類（高速 7.0km/h、中速 5.0km/h、低速 2.2km/h）、積載量を空荷と最大積載量 4.5t の 2 種類の組み合わせで、走行試験を実施した。試験条件おきに教示走行を行った後、3 回ずつ自動走行を行い、自動追尾式のトータルステーションで教示走行時と自動走行時の走行軌跡を計測し、進行方向に対して横方向の制御誤差の計測を行った。Fig.8、9 に各試験条件時の誤差の最大値と平均値を示す。空荷状態において最も誤差が大きかった走行条件は、直径 10.0m の曲率において低速走行を行った場合であり、最も誤差が少なかった走行条件は、直径 5.0m の曲率において高速走行を行った場合だった。各試験条件時における誤差の傾向は、速度が速くなるほど誤差が少なくなり、カーブの曲率が小さくなるほど誤差が少なくなる傾向を示した。次に満載状態において最も誤差が大きかった走行条件は、空荷の時と同様に、直径 10.0m の小判型走行路において低速走行を行った場合であった。また最も誤差が小さかった走行条件は、直径 7.5m の曲率で高速走行を行った場合で

Table 2. 走行時間と走行速度
Traveling time and traveling velocity

試験地	作業内容および被験者	時間 (分)		作業時間倍率	走行速度 (km/h)	
		搭乗	遠隔		搭乗	遠隔
鹿児島	走行 A	11.0	17.0	1.6	7.1	4.6
	走行 B	10.0	17.9	1.8	7.8	4.3
新城	登り走行 C	2.9	3.8	1.3	5.8	4.5
	登り走行 D	2.7	3.3	1.2	6.3	5.2
	下り走行 C	2.7	6.2	2.3	6.3	2.8
	下り走行 D	2.8	6.7	2.4	6.0	2.6

Table 3. 荷役操作時間とサイクル数、平均把持本数
Handling operation time, the number of cycles and average grip number

試験地	よび被験者	作業内容お		総作業時間 (分)	作業時 間倍率	サイクル数		平均把持本数	
		遠隔	搭乗			遠隔	搭乗	遠隔	搭乗
鹿児島	荷下ろし B	27.9	6.5	4.27	11	10	2.0	2.2	
	積み込み A	32.1	9.2	3.48	13	12	1.6	1.8	
新城	荷下ろし C	35.3	8.5	4.14	16	11	2.4	3.5	
	荷下ろし D	13.2	6.1	2.15	12	10	3.2	3.8	
	荷下ろし E	23.4	12.0	1.95	12	14	3.2	2.7	
	積み込み C	45.0	7.9	5.69	15	11	2.5	3.5	
	積み込み D	14.8	7.4	1.99	10	13	3.8	2.9	

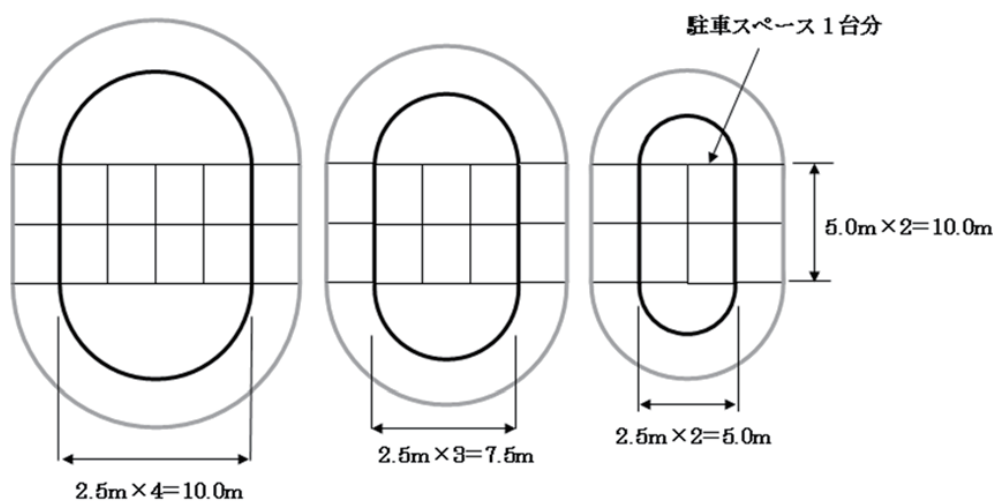


Fig. 7. 自動走行試験路の形状

Route map of the automated traveling test

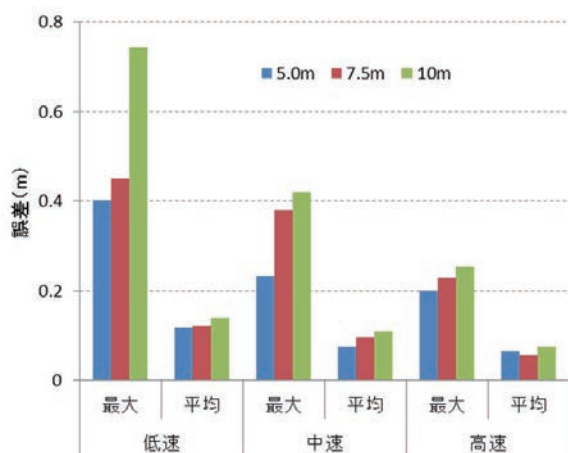


Fig. 8. 舗装路上の自動走行時における道幅方向の軌跡誤差 (空荷)

Trace error of the width direction at the time of the automated traveling on the pavement street (no load)

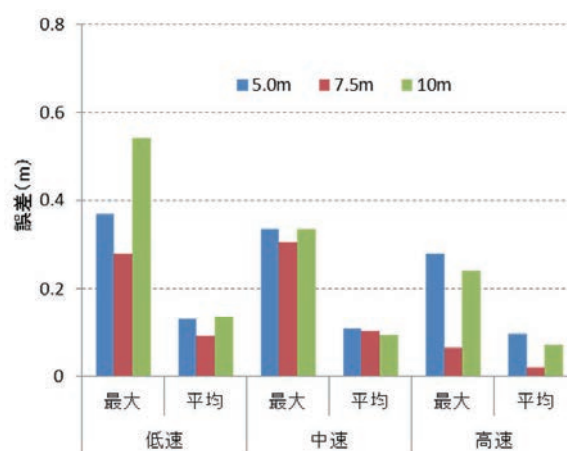


Fig. 9. 舗装路上の自動走行時における道幅方向の軌跡誤差 (最大積載量)

Trace error of the width direction at the time of the automated traveling on the pavement street (max. load)

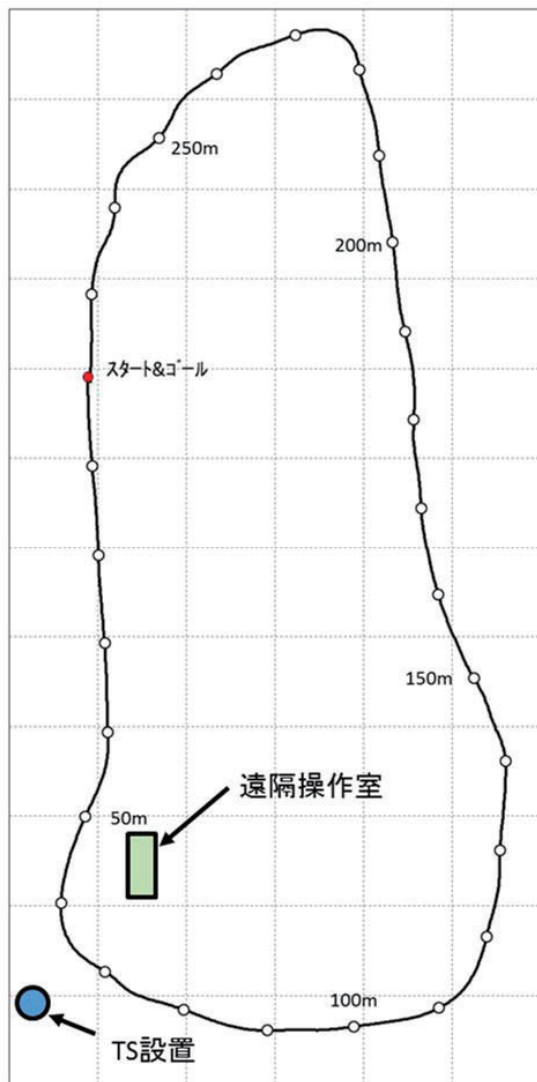


Fig. 10. 鹿児島試験地自動走行試験路線図
Kagoshima test land route map for automated traveling test

あった。走行条件別の誤差の大きさについては、空荷時と同様に、速度が速くなるにしたがって誤差が少なくなった。一方、カーブの曲率では、10.0m が最も誤差が大きく、次いで 5.0m、7.5m の順に誤差が小さかった。曲率が大きくなるほど、あるいは走行速度が遅くなるほど、制御誤差が大きくなる傾向であった。走行速度が速くなるほど、相対的により遠くの教示座標値を参照するため、大きな偏差が生じる。同様に、曲率が小さいほど、相対的に偏差が大きくなる。この大きな偏差に対しても、制御が不安定にならないように、試作機ではゲイン調整を行っている。この結果、走行速度が遅い場合や直線走行時には偏差が小さくなるとともに、操向操作の調節量が小さくなるため、大きな偏差が生じるまで調節量が大きくなり、幅員方向の走行誤差が大きくなったと考えられる。積載量の影響については、空荷の状態、直径 10.0m の小判型走行路を高速走行した試験において大きな誤差を記録したが、その他の最大値、平均値を比較すると大きな差が認められなかった。このことから平坦な舗装路においては、積荷の有無による走行精度への影響は少ないと考えられる。

鹿児島試験地に設定した試験走行路の概要を Fig10 に示す。遠隔操作試験に使用した試験地と同じ場所であるが、走行経路は一周約 280m の周回路となっている。作業道の幅員は約 3.5m であり、火山礫で構成される路面である。コースの形状は南北に長い楕円型であり、一周の高低差は 10.3 m となっている。教示走行時に GNSS を用いて計測した車両の速度と走行路面の高低差を Fig.11 に示す。走行速度は平均 7.2km/h であり、駐車場において試験走行した時の高速設定とほぼ同じ速度であった。試験地は皆伐地であるが、マツの天然更新のための母樹が残されているのと、傾斜の影

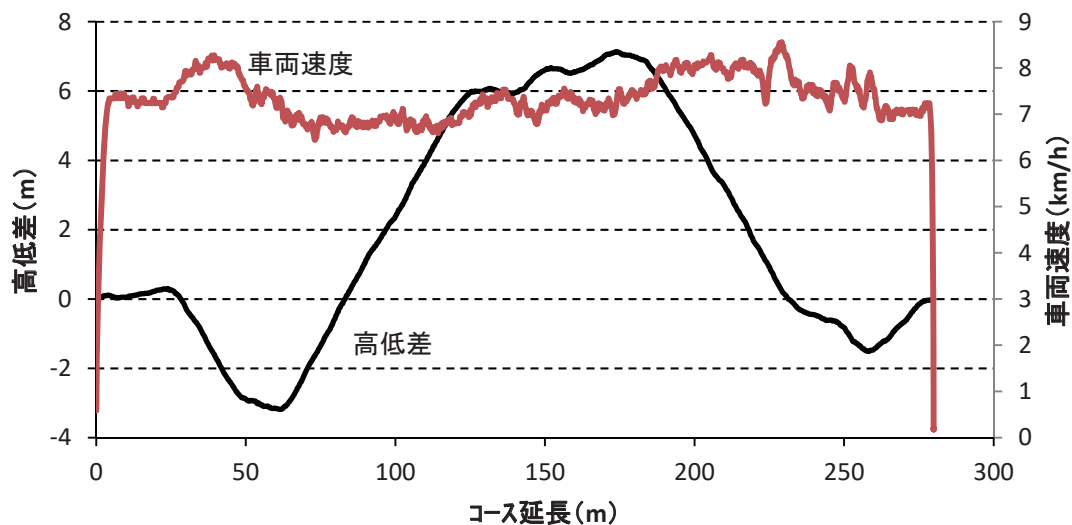


Fig. 11. 試験地高低差および走行速度
Test place difference in height and traveling velocity

響により、トータルステーションで全走行区間を計測することは不可能であった。このため、Fig.10 に示す自動走行のスタート地点からトータルステーションの自動追尾機能が機能しなくなる 100m 付近までの区間の走行軌跡データを用いて、解析を行った。

自動走行時の制御誤差の計測例を Fig.12 に示す。教示走行時の走行軌跡に対する自動走行時の幅員方向の誤差を示したものである。スタート地点において、20cm 程度の誤差が生じているが、自動走行を開始するとともに教示走行時の走行軌跡へ戻そうと機能していることが確認できる。計測できた区間内において、最大誤差が 30cm 程度生じ、左右に蛇行しながら自動走行していることが確認できる。同様の試験を、積載量を空荷、半載、満載と変えて走行試験を行った。その結果を Fig.13 に示す。図には、幅員方向の誤差の最大値と平均値を示している。1 日目の試験では、荷台に満載状態として教示走行を行い、満載で自動走行、材を半分下ろして自動走行、空荷にして自動走行試験を行った。回数は図に示す通り約 10 回ずつである。平均誤差、最大誤差ともに各条件時の差は少なく、アスファルト舗装時の試験と同様に、積載量が自動走行

時の走行軌跡へ与える影響は少ないと考えられた。2 日目には積載量を満載として、再度教示走行を行い、終日同条件で自動走行試験を行った。試験日が変わることによって、GNSS の衛星配置状況が大きく変化している。最大誤差は大きくなっているものの、平均誤差に差はほとんどなく、衛星配置の影響もそれほどないものと考えられる。衛星は常に移動していることから、衛星配置が悪い場合に計測誤差が大きくなり、その結果、制御誤差も大きくなったと考えられる。

駐車場において実施した走行試験では、開空度も確保されており、路肩から車両が逸脱するようなことがないことから、自動走行試験は全区間成功している。しかしながら、鹿児島試験地において実施した自動走行試験では、安全を確保するために非常停止機能进行操作できる運転手が搭乗した状態で実施しており、制御誤差が大きくなりすぎて非常停止せざるを得ない時があった。自動走行時の最大誤差が 1.5m 程度発生する場合があったことを考慮すると、森林作業道の幅員は 5m 以上必要となる。最小回転半径に関しては、試作機の最小回転半径が 4.7m であり、曲率が小さくなると制御誤差が抑えられることを考慮すると、曲線部に

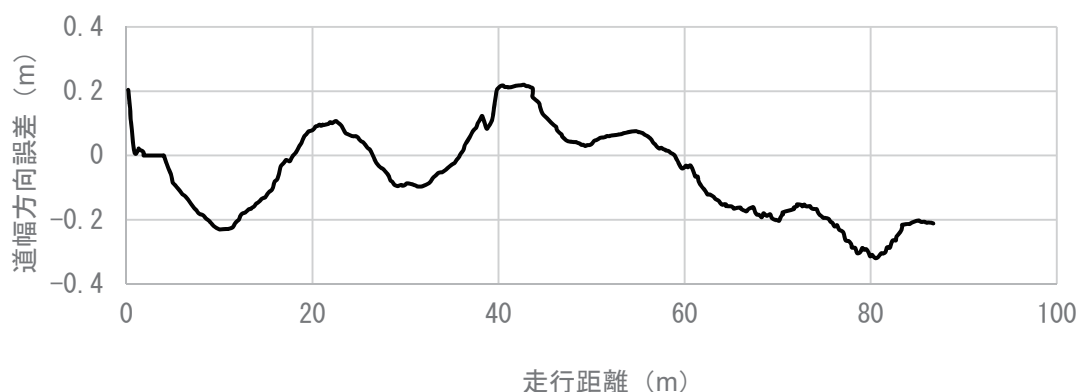


Fig. 12. 自動走行時における道幅方向誤差の計測例
Measurement example of the width direction error at the time of the automated traveling

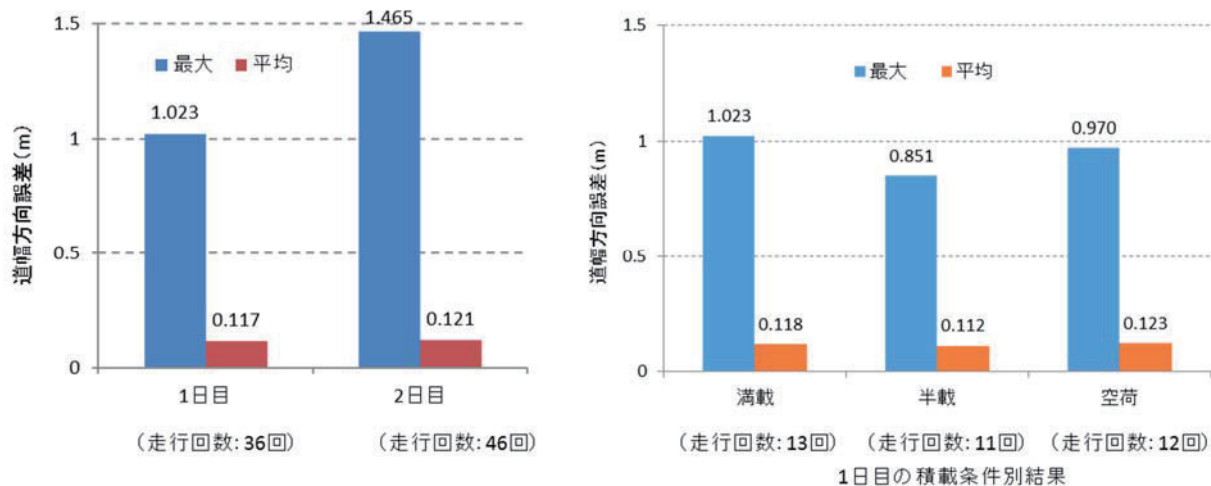


Fig. 13. 鹿児島試験地における道幅方向の軌跡誤差
Trace error of the width direction in the Kagoshima test land

関しては、影響は少ないと考えられる。自動走行試験時において、試験を中断した場所は走行試験路の特定の場所に集中しており、これは GNSS 測位精度が低下する場所であった。皆伐作業地とはいえ、傾斜、母樹等の影響により常に一定の測位精度を保てていたわけではなく、制御誤差が大きくなるところは、ある程度特定できることから、作業道の幅員を部分的に拡張することで対応可能と考えられる。

4. おわりに

遠隔操作試験の結果、走行操作および荷役操作ともに搭乗操作に比べ、遠隔操作は作業能率が劣ることが確認できた。これは、遠隔操作時におけるカメラの装備位置、画角、個数等に関して更なる検討を加えることによって、改善される可能性がある。また、試作機の試用期間が短かったため、作業員の習熟が進むことによって、作業能率の改善が見込まれる。被験者からは、快適性に関して高評価を得ることができたが、安全性に関しては自分以外の作業者に対して問題点が残るとともに、機械の操作性、作業精度、疲労度等については評価が低く、今後の検討課題である。

自動走行試験に関しては、作業道の幅員に影響を与える制御誤差に関して、現行の指針（林野庁 2010）通りの幅員では走行不可能な制御誤差が確認された。制御誤差の修正に GNSS を利用しており、その測位精度が制御誤差に大きく影響することから、適用可能な作業現場は限定的にならざるを得ない。間伐作業地等、GNSS 測位精度が期待できない場所では、自動走行の修正方法に GNSS 以外の方法を考える必要がある。しかしながら、試作機を用いた試験では、搭乗操作時と同じ走行速度で自動走行を達成可能であり、経験豊富

な作業員の運転操作を模倣できるアルゴリズムを構築できた。

これらの試験結果より、遠隔操作および自動走行機能を有するフォワーダは運転手の労働負担を低減させる効果は十分にあるとともに、自動走行機能を利用可能な現場は限定的ではあるが、集材作業に有効活用できると考えられる。

謝辞

本研究では、実証試験を行うにあたり、かごしま森林組合および新城森林組合の協力をいただいた。ここに深謝する。なお、本研究は「農林水産業におけるロボット技術導入実証事業」の補助を受けて実施した成果である。

引用文献

- 藤井 友子 (2012) ドイツ HBC 社製ラジオ無線リモコンを使った林業作業機の安全かつ効率的で快適な操作. 建設機械, 48(8), 41-46.
- 毛綱 昌弘・山口 浩和 (2000) 永久磁石とジャイロの組み合わせによる自律走行運材車の開発. 森林利用学会誌, 15, 197-204.
- 林業・木材製造業労働災害防止協会 (2016) “林業労働災害（死亡災害）速報一覧”, http://www.rinsaibou.or.jp/cont03/03_frm.html, (参照 2016-08-10).
- 林野庁 (2010) 森林作業道作設指針の制定について. 林野庁長官通知 656 号.
- 森林総合研究所 (2006) 林業機械のテレコントロールシステムの開発 交付金プロジェクト研究成果集 10. 森林総合研究所, 53pp.

Development of operational support technology of a forwarder by remote control and automated travelling function

Masahiro MOZUNA^{1)*}, Hirokazu YAMAGUCHI¹⁾, Takayuki ITO¹⁾, Hidenori SUZUKI¹⁾, Osamu CHISAKA²⁾, Ayanobu TAKASAKI²⁾, Kanemitsu KUSANO³⁾ and Shigeo KITAHARA⁴⁾

Abstract

We developed a remote control function for a forwarder to reduce labor burden on the driver. The driver can operate traveling and handling while confirming visual information from the cameras mounted on the forwarder. Furthermore, we added an automated traveling function to the forwarder. After the driver travels once on a strip road, the controller memorizes the linearity of the road and the duration of operation during the trip. At the time of automated travel, the controller reproduces the duration of operation. This duration is revised using global navigation satellite system (GNSS) and pinpointing information from a traveling trace by agitation, such as slips at the time of automated traveling. We conducted a validation test in logging fields using this prototype. With regard to the remote control function, handling and traveling work efficiency decreased when using the remote control in comparison with boarding operation, and drivers confirmed comfort and safety. With regard to the automated traveling function, a control error larger than the width made along the guidelines of the strip road occurred because the traveling function was unable to secure the precise GNSS measurements necessary to revise the control error in a thinning field. These results indicate that locations wherein the device can be used are limited; however, they confirmed a reduced labor burden on the driver.

Key words : forwarder, labor burden, GNSS, automated traveling, remote control

Received 10 August 2016, Accepted 28 November 2016

1) Department of Forest Engineering, Forestry and Forest Products Research Institute (FFPRI)

2) IHI Construction Machinery Ltd.

3) JMU Defense Systems Co., Ltd.

4) Kumagai Gumi Co., Ltd.

*Department of Forest Engineering, FFPRI, 1 Matsunosato, Tsukuba, Ibaraki, 305-8687 JAPAN; e-mail: mozuna@ffpri.affrc.go.jp