

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 28 年 6 月 13 日現在

機関番号：22604

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2012～2015

課題番号：24510193

研究課題名(和文) 伐採木の最適な搬出作業システムの開発

研究課題名(英文) Research on Logging Systems Using Forestry Vehicles and Machines

## 研究代表者

小谷 重徳 (KOTANI, Shigenori)

首都大学東京・社会(科)学研究科・客員教授

研究者番号：10404948

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,100,000円

研究成果の概要(和文)：林業の発展には、伐採、植林、育成のサイクルを回すことが重要である。そのためには、各プロセスの大幅な生産性の向上が必要で、本研究は伐採プロセスにおける生産性が大幅にアップできる方法を開発することである。伐採プロセスで行われている方法(搬出作業方法)は非常に種類が多いので、代表的な4つの作業について調査・分析をし、それぞれ生産性が大幅に向上できる方法を提案する。提案には林業機械の改良が必要であるが、着実に進められている。林業ではIEはあまり活用されていない。そこで、林業の関係者が改善を容易に進められるように、林業における改善の着眼点を明確にし、体系化する。

研究成果の概要(英文)：In order to revitalize the forestry economy, productivity in the forestry must be enhanced greatly. Accordingly, the author has been studying logging systems using forestry vehicles and machines for the purpose of increasing productivity. As there are a number of kinds for logging systems, in this study the four main logging systems have been researched and analyzed. As a result, the new four logging systems for greatly improving worker productivity have been proposed. It is necessary to improve forestry vehicles and machines in the new logging systems. However, these improvements for forestry vehicles and machines are not difficult in technology and are assignments hereafter. In order to improve productivity in the forestry, all operations of many logging systems must be improved continuously. Therefore the viewpoints of improvements for the operations have been developed based on IE. Using these viewpoints, logging systems can be improved easily and continuously.

研究分野：生産管理、SCM、トヨタ生産方式、林業の生産性

キーワード：林業 搬出作業 集材 生産性 改善 集材機 スイングヤード 自動化

### 1. 研究開始当初の背景

林業の発展には、伐採、植林、育成のプロセスを回していくことが必要である。しかし、現状では伐採が中心になっている。また、研究開始当初の円高のときには、成長した木を伐採し出荷しても、十分な利益が確保できない場合がほとんどであった。今日の円安によって状況は少し好転しているが、林業は厳しい状況には変わりはない。

一方、林業の生産性は林業機械の導入などのいろいろな取り組みによって向上してきたが、日本の急峻な山ではまだまだ生産性が低いのが現状である。

### 2. 研究の目的

成長した木を伐採し、市場に出荷すると十分な利益が出るようにすることが、まず必要なことである。そのために、伐採プロセスの生産性を大幅に向上させることを目標に研究に取り組む。伐採プロセスには、伐倒、集材、造材、運搬、輸送の5つの工程からなり、**搬出作業**と呼ばれる。搬出作業の方法には多種多様な方法があるが、中でも大きく異なるのは、伐倒から造材までの作業で、利用する機械の種類やその組合せによって多くの作業方法がある。そこで代表的な搬出作業システムを取り上げ、実際の作業を調査・分析をし、生産性が2倍以上の大幅にアップできる方法を提案することが研究の目的である。

搬出作業の方法は非常に種類が多い。代表的な方法については改善提案をするが、その他の方法については、林業の関係者が継続的に改善を進めることが重要である。しかし、林業では作業改善の基礎である **IE** やトヨタ生産方式はあまり知られていないし、活用されていない。工場の改善活動と同じように、林業においても全員参加で継続的な改善活動が積極的に行われることが必要である。そのためには、**IE** の教育や普及などを通じて人材育成をし、林業の改善が進む「仕掛けづくり」が必要となる。

### 3. 研究の方法

搬出作業の方法にはいろいろなやり方があるので、代表的な4つの方法について研究し、生産性が大きく向上する方法を開発する。4つの搬出作業は以下のとおりである。

#### (1)集材機を用いた架線集材方式

急峻で作業道の新設が困難な場合などでよく利用される方法で、長い架線と集材機を使用して木を架線に吊り下げて集材する方式である。長い架線を利用する代表として取り上げる。

#### (2)H型集材方式

架線集材方式よりさらに大規模な架線を用いる方式である。作業は架線集材方式と類似しているが、集材面積が広いために作業場の設置に関して検討しなければならない重要な課題あり、この課題の解決のために取り

上げる。

#### (3)スイングヤーダを用いた方式

100m以内の架線をし、スイングヤーダで木を引きずって集材する方式であり、利用頻度の高い方法である。

#### (4)ハーベスタを用いた方式

ハーベスタは伐倒から造材までを行える機械で、非常に効率的である。急峻な地形が多い日本では利用が限られるが、生産性が良い方式の代表として取り上げる。

以上の4つの搬出方法について、実際の作業を調査・分析をし、問題点を明らかにして生産性が大幅に向上する方法を提案する。また、H型集材方式に関しては、集材面積が非常に広いために作業場の設置に関して課題があるので、数理モデルを設定し、数値解析によって課題の解決を図る。

林業において **IE** を普及するためには、体系的な教育の仕組みが必要であり、また高度な改善能力を持った人材も多数育成する必要がある。本研究では、林業の関係者が改善に取り組むときに参考にしてもらうための「林業における各種作業の改善の着眼点」をまとめ、体系化することも目標とする。これを活用して、改善が日常的に行われることを期待したい。

### 4. 研究成果

先ず、代表的な4つの搬出作業システムの研究成果は以下のとおりである。

#### (1)集材機を用いた架線集材方式

##### ①現状の作業方法

3人の作業者の作業は以下のとおりである。

- ・土場の作業者：到着した搬器を誘導・着地させ、搬器から木材をはずして山側に返す指示を無線です。その後、スイングヤーダに乗り込み、造材を開始する。

- ・山側の作業者：到着した搬器の誘導指示をして荷掛け場所に着地させる。搬器に荷掛けし、退避した後、搬器の土場への移動指示を無線です。

- ・集材機の操作者：搬器がほとんど見えないために、土場や山側の作業者の指示に従って集材機を操作する。

##### ②主要な問題点

主な問題点は以下のとおりである。

- ・土場の作業者にとって、スイングヤーダへの乗り降りは大変であり、サイクル的に造材作業は遅れ傾向がある。

- ・2~4本の木が運ばれてきたときに、土場に着地した木の方向がばらつき、その後の作業がやりにくくなっている。

- ・山側の作業者は手待ち時間が多い。

- ・集材機の操作者は搬器が見えず、無線で指示されるために常に緊張感がある。

##### ③改善の考え方

生産性を上げるためには、搬器の1サイク

ルの時間を短縮することが必要である。また、集材機の自働化（ラジコン指示化、自働走行、指定位置で自動停止）によって、集材機の専任の操作者の廃止をする。また、スイングヤーダの乗り降り廃止のために、オートチョーカなどを採用し、荷外しを自動化する。

#### ④改善案と効果

サイクルタイムの短縮の改善事項は省略する。搬器の操作を土場と山側の作業員によるラジコン指示で可能にする。また、自働走行や指定位置での自動停止も行えるようにし、集材機の専任の操作者を廃止し、2名で集材作業ができるようにする。

調査した現地作業の平均サイクルタイム（8分15秒）に対し、改善によって1分43.7秒短縮できる。また、作業員が1人削減できるので、労働生産性は両者を合計して54.2%向上し、2倍以上になる。

#### ⑤集材機の改良

生産性の大幅な向上には集材機の改良開発が不可欠である。2010年には集材機の改良開発ができないかをメーカーに働きかけていたが、集材機の生産をしていない状況であり、集材機のクラッチを生産している大手トラックメーカーもクラッチの生産の打ち切りをしているために集材機の生産再開は難しいという判断だった。ところが、林野庁補助事業で、先進的林业機械緊急実証・普及事業の一環として、2013年には集材機の油圧化、2014年にはラジコン指示による操作、2015年には集材機の小型化・分割化に取り組んでいることを2016年2月に知った。2016年3月に行われた「小型化・分割化された集材機の現地検討会」に参加し、新集材機の機能を確認した。2人作業は可能であり、私が提案していたことが実現可能であることが分かった。しかし、まだまだ改善すべきことは多々あるので、集材機の開発メンバーではないが、アドバイザーとして改善すべき事項をいろいろ提案した。今後もアドバイザーとして新集材機の開発を注視し、適切な集材機が開発されるように見守っていきたい。

#### (2)H型集材方式

##### ①作業方法と問題点

主策を2本張るこの方式は集材面積が非常に広いが、集材機を用いるので作業方法は方式(1)とよく似ている。従って、基本的な問題点は共通である。

##### ②課題

この方式では集材面積が広いために作業場をどこにいくつ設置するかが生産性に大きく影響する。作業場の設置には一定の広さやトラックが進入できること等の条件があり、また設置費用もかかるので、作業場をどこにいくつ設置すべきかの判断が難しい。そこで、次のようなことを理論的に明らかにし、作業場の設置に関する判断が適切に行えるようにする。

・最適な作業場はどこか。

・最適な作業場からずれた場合、生産性がどのように変化するか。

・作業場を複数設置すると、生産性がどのように変化するか。

#### ③H型集材方式のモデル化

以上の課題を解決するために、集材のやり方をモデル化して解析する。集材箇所がXY平面上の4点(0,0), (2a,0), (2a,2b), (0,2b)で表わされた四角形とする。集材点と土場をそれぞれ点(x,y)と(u,v)で表わす。また、集材点(x,y)における搬器の上下の移動距離をh(x,y)、集材点(x,y)から土場までの移動距離をg(x,y)とすると、搬器が土場からスタートして集材点(x,y)の木を土場(u,v)まで運ぶまでの移動距離の合計Tは、

$$T = \int_{y=0}^{2b} \int_{x=0}^{2a} 2g(x,y)f(x,y)dx dy$$

となる。従って、Tを最小にするu\*とv\*を求め、点(u\*,v\*)に土場を設置すると最も効率的に集材することができる。

上の式でu\*とv\*を求めるのは困難なので、実用的なモデルを設定して解析する。すなわち、実数であるxとyは0以上の整数とし、全ての集材点での集材回数は1とする。

#### ④解析結果

搬器の移動距離の合計Tは、

$$T = 2(2b+1)\{(a-u)^2 + a(a+1)\} + 2(2a+1)\{(b-v)^2 + b(b+1)\} + 2 \sum_{y=0}^{2b} \sum_{x=0}^{2a} h(x,y) + 2\{(2a+1)(2b+1) - 2\}h(u,v)$$

となる。搬器の上下の移動距離を全ての集材点と土場で同じとすると、上式を最小にするのは、

$$u = a, v = b$$

となり、土場を集材箇所の縦、横の中央に設置すればよいことになる。

土場の設置には条件があるので、最適な位置に設置できるとは限らない。0以上の整数nを導入し、土場を(a-n, [b-bn/a])としてnを変化させたときの搬器の移動距離の総合計T(n)を求め、nとT(n)/T\*の値を表1に示す。ここで、a,b,cは代表的な集材ケースの値で、それぞれ100m, 500m, 50mとし、記号[s]は実数sを四捨五入した整数とする。

表1 nとT(n)/T\*の値

n	T(n)/T*	n	T(n)/T*
10	1.01	60	1.27
20	1.03	70	1.37
30	1.07	80	1.48
40	1.12	90	1.61
50	1.19	100	1.76

一般に集材距離の縦方向は1,000mにもなるので、縦方向に土場を複数設置すると、搬

表2  $m$  と  $T_m/T^*$  の値

$m$	$T_m/T^*$
2	0.69
3	0.59
4	0.53
5	0.50

器の移動距離は少なくなる。そこで、土場が  $m$  個のときの搬器の移動距離の総合計  $T_m$  求め、 $m$  と  $T_m/T^*$  の値を表2に示す。なお、土場はそれぞれ最適な位置に配置する。

現在の集材機では、搬器の縦と横の同時移動は安全のために実施していないが、集材機の改良によって可能になるとすると、搬器の移動距離は12.1%削減できる。

#### ⑤改善案と効果

具体的な改善案は省略するが、改善後の労働生産性は2.61倍になる。

### (3) スイングヤードを用いた方式

#### ①作業方法

この方式の作業方法は、方式(1)の集材機をスイングヤードに置き換えた方法に類似している。荷掛け場では搬器は見えないが、土場に近づくと搬器を見て操作することができるという特徴がある。

#### ②主な問題点

この方式もスイングヤードに操作者が張り付いて作業するという問題があり、方式(1)とほぼ共通である。

#### ③改善案と効果

スイングヤードを2つのラジコン指示での制御や搬器の自動走行と指定位置での自動停止などができるようにし、スイングヤードの操作者を廃止する。また、荷外しの自動化も行う。この作業のサイクルタイムは比較的短いので、土場での造材作業が遅れることによって1サイクルの時間に影響を与える場合があり、これを考慮しても集材作業の労働生産性は3.24倍になり、大幅に向上する。

#### ④スイングヤードの改良

スイングヤードの操作は運転席での操作から無線式のラジコンと有線式のジョイスティックによる制御、更に2つの無線式のラジコンによる制御へと開発が進められてきた。しかし、残念ながらメーカー自身が本改善のような利用の仕方を知らなかったので、スイングヤードを利用した集材方法の大改革ができることを説明し、理解を得た。メーカーのスイングヤードの販促活動において、集材作業の大幅な生産性向上ができること積極的に広報し、改善案の作業方法が広く周知されることを期待している。

### (4) ハーベスタを用いた方式

#### ①作業方法

この方式は伐倒から造材までを最も効率的に行えるので、適用の拡大を図ることが重

要である。具体的な作業は、伐倒(39.1秒)、造材(88.9秒)、造材木のそろえ(105秒)、片づけ(94.6秒)、移動(10.3秒)のサイクルを繰り返し行う。なお、括弧内の数字は調査した現場作業の平均値である。

#### ②主な問題点

大小を含め問題点は多数あるが、ここでは2、3の問題点だけを指摘しておく。ハーベスタは後ろ向きで移動する。これは造材した木を作業道に置くために前進できないからである。また、造材した木を次の工程の作業(フォワーダによる運搬)がしやすいように整理しており、その分時間が余分にかかっている。

#### ③改善案と効果

造材した木を作業道の方向に垂直に置くので、ハーベスタは前進できない。しかし、路肩に作業道の方向に平行に置けば、前進できる。前進で次の伐倒木まで進み、次の動作にはいるのが効率的である。ただし、作業道が狭く、路肩に置けないケースがあるかもしれない。後工程が作業しやすいように、造材木を整理するのは全体として効率的である。しかし、後工程の能力がハーベスタでの伐倒から造材までの能力を上回っており、ハーベスタがボトルネックになっている。従って、造材後の木の整理は止め、路肩に並べるだけの処理にし、ハーベスタの作業時間の短縮を図る。その他の改善案については省略する。

この方式の作業における問題点は、サイクル毎に発生するものとそうでないものがある。そこで、問題点の発生頻度も考慮して改善案の効果を計算すると、生産性が30.5%向上する。今回の改善提案は、作業におけるムダの排除によるものであるが、効果は非常に大きい。林業では作業の標準化の概念が乏しく、熟練した職人技として作業を任せている。しかし、この考え方を打破し、まずは作業を標準化し、これを基準に改善を進めていくこと大切であること、また作業はサイクリックであるので、秒単位の改善でも非常に効果が大きいという理解を林業で普及させることが肝心である。

### (5) 林業分野の作業改善の着眼点の体系化

4つの代表的な搬出作業方法について改善案を提案したので、これらを基に類似の作業方法については改善が進められる。しかし、林業においてはその他にもいろいろな作業がある。例えば、作業道の設置、架線や土場の造成などの準備作業がある。これらの作業の各種改善がどんどん進むためには、IEを理解した人材の育成や高度な改善ができる人材の育成が不可欠で、組織的な対応が欠かせない。本研究ではこれらには取り組めないが、そのための1つの手段として、改善を容易に進めるための「改善の着眼点」を体系的にまとめる。改善の手ほどきを少し受ければ、これを参考にして改善を進めることができるようになる。意欲を持って継続的に改善を進めていけば、改善能力を高めることができる。

改善の着眼点は次のような項目からなる。

- ①搬出作業の計画
- ②各作業工程の改善
  - ・各作業工程の改善
  - ・機械や道具を使用する作業工程の改善
- ③土場の設置やそのレイアウト
- ④人材育成

①の項目だけ簡単に説明しておく。搬出作業の仕事をどのように取り組むかは計画が大事である。多くの作業場では、単なる目安の大雑把な日程計画のレベルで終わっている。しかし、実行計画としての詳細な作業計画をつくり、実際の作業実績と比較し、計画と実績の差異分析をする必要がある。これによって計画の精度の向上や作業の改善を進めることができる。いわゆる、PDCAを回すことである。詳細な実行計画をつくると、作業者の手待ちも見えてくるので、事前に作業計画も適正なものができるようになる。手待ちの解消には他の作業現場の作業することも必要になる。

研究成果の概要は以上のとおりである。以上のように、架線集材方式では機械の自動化により、作業者が3人から2人になり、労働生産性が画期的に向上する。この方式を速やかに広く普及させることが大切で、集材機の改良開発も加速する必要がある。また、タワーヤードにもこの考え方が適応できることも指摘しておきたい。なお、詳しくは論文や研究発表論文を参照していただきたい。

#### (6) 研究のまとめと今後の課題

林業の生産性を上げるためには、林業関係者の継続的な改善が不可欠であり、そのためにはIEやトヨタ生産方式などの工場の改善手法が普及することが大切で、人材育成が急がれる課題である。これには組織的な取り組みが求められ、各県の森林組合などで教育が行われることが必要である。

林業の再生・発展には生産性アップによるコスト削減はその前提となるが、森林組合などの林業事業者の経営改革、木材需要の創造、供給の安定化など取り組むべき課題は多い。

#### 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計2件)

①小谷 重徳、伐採木の搬出作業システムの研究 —H型集材方式の特性解析と改善—、日本経営工学会論文誌、査読有、66巻、2016、363-371

②Shigenori Kotani, Scheduling Problems in the Lot Production Lines of the Toyota Production System, Journal of Japan Industrial Management Association, invited paper (査読無), Vol.65, 2015, 321-327

〔学会発表〕(計8件)

①小谷 重徳、伐採木の搬出作業システムの

研究 (V)、日本生産管理学会、2016年3月6日、高知工科大学(高知県高知市)

②小谷 重徳、伐採木の搬出作業システムの研究 (IV) —H型集材方式の特性解析とその改善—、日本経営工学会、2015年11月29日、金沢工業大学(石川県野々市市)

③小谷 重徳、伐採木の搬出作業システムの研究 (III)、日本生産管理学会、2015年3月15日、福岡工業大学(福岡県福岡市)

④小谷 重徳、トヨタ生産方式におけるロット生産ラインの研究、日本経営工学会、2014年、11月9日、広島大学(広島県東広島市)

⑤小谷 重徳、伐採木の搬出作業システムの研究 (II)、日本生産管理学会、2014年3月9日、大阪成蹊大学(大阪市東淀川区)

⑥小谷 重徳、ある生産工場の改善事例、日本経営工学会、2013年11月16日、日本工業大学(埼玉県南埼玉郡)

⑦小谷 重徳、伐採木の搬出作業システムの研究、日本生産管理学会、2013年3月24日、杉山女学園大学(愛知県名古屋市)

⑧小谷 重徳、トヨタ生産方式におけるロット生産ラインの運営 —低負荷時への対応—、2012年11月18日、大阪工業大学(大阪市)

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.comp.tmu.ac.jp/jit.kotani/>

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

小谷 重徳 (KOTANI SHIGENORI)

首都大学東京・社会科学研究所・客員教授  
研究者番号：10404948