

地上レーザ計測システムを活用した林業経営の効率化 施業提案作成システムの開発と実証

山田 隆信・村上 勝*・川元 裕

Improving Efficiency of Forestry Management Using Ground Laser Measurement Systems

Development and demonstration of a system for creating business proposals

YAMADA Takanobu, MURAKAMI Masaru and KAWAMOTO Yutaka

Abstract: To improve the management efficiency of forestry enterprises, the OWL terrestrial laser instrument was used to reduce labor and improve the accuracy of forest surveys and the sophistication of production forecasting. Consequently, labor savings and higher accuracy were confirmed. Next, a system was jointly developed with the Add-In Research Institute to creating business proposals for each log-by-log diameter and grade for each standing tree based on the highly accurate information obtained, and this system was verified at a clear-cutting project site. Production forecasting requires adjustment by yield based on the differences in each forestry enterprise's approach to timber harvesting and biomass collection, and on the damage caused by typhoons and deer feeding. However, the yield of the production forecast for lumber volume and number of logs were similar. Conversely, the accuracy of grade prediction based on curvature is low. It is necessary to improve the accuracy of the laser measurement device and the system.

Keywords: forest survey work, production forecast, labor - saving

キーワード：森林調査、生産予測、省力化

緒 言

スギ・ヒノキの人工林資源が成熟し、木材の安定供給が求められる中、本県の木材生産は全国水準に比べ低位な状況にある(山口県森林企画課調べ)。そこで、情報通信技術(ICT)を活用し、これを担う林業事業者における林業経営の生産性や経営効率を高め、本県の木材供給体制を強化する必要がある。

林業事業者は、皆伐前に林分の資源量を調査し、その結果から生産予測を行い、生産計画や施業提案書を

立案する。従来の方法では、現地調査で胸高直径と樹高を実測し、立木幹材積表(日本林業調査会, 1970)により幹材積(枝葉を除いた幹だけの材積)を算出し、これに調査者の経験に基づいた歩留を乗じて、生産される総材積を予測している。一方、原木市場では生産された原木の長さとも口直径と曲りを計測し、原木の末口二乗法(2 cm単位で計測した末口直径の二乗×長さ)で材積を計算する。長さは材長、末口直径は径級、曲りは等級として規格区分し、その時の市場価格で価格が決まる。県内原木市場では、材長3 mまたは4 m

* 現 下関農林事務所

の原木が主に流通しており、等級は様々に分類されるが、一般的に「直」、「小曲」、「曲」に三区別される。林業事業者と原木市場の材積の算出方法の違いが、高精度の原木生産予測の阻害要因となっている。

そこで、地上レーザ計測の一つである森林3次元計測システム OWL (アウルと読む 以下、OWL (株) アドイン研究所製) を活用し森林資源調査業務の省力化と解析結果の高精度化を図るとともに、生産予測の高度化のため立木毎に原木生産予測を行う施業提案作成システムを(株)アドイン研究所と共同開発し、生産結果と比較検証したので報告する。

材料および方法

1 地上レーザ計測による森林資源調査業務の省力化と高精度化の検証

地上レーザ計測による森林資源調査業務の省力化と高精度化を検証するため、従来手法と地上レーザ計測による森林資源調査の調査時間計測を8か所、精度検証を9か所の人工林で計測員2名(40代男性、50代男性)により実施した。従来手法は、直径巻尺と超音波樹高測定器 Vertex IV (Haglof社製) を使用し、全木の胸高直径と樹高を実測した。地上レーザ計測は、OWL を使用し、10 m 間隔で格子状になるよう設置・計測し、OWL Manager で解析を行った。従来手法の計測結果を真値として、地上レーザ計測解析結果の精度検証を行った。

本研究で使用した OWL は、赤外線レーザを使用した森林計測装置で、装置の設置が簡易な一脚式で、設置後にボタンを押すだけでレーザスキャナが45秒間に180°回転し、43,200点/秒の地上レーザ計測を行う。有効照射距離は30 mで、調査対象林内を移動しながら10 m間隔で設置し計測を行う。また、OWL 解析ソフトである OWL Manager により、簡単な操作で解析でき、一本毎に胸高直径、樹高、材積などを解析した立木リストや立木位置図などを得られる。高度な知識と熟練が必要でないため、計測、解析ともに林業事業者の職員が実施可能である(千葉, 2017)。

また、地上レーザ計測は、地上からレーザを照射するため、レーザが枝葉に遮られて樹頂点を計測することが困難で、樹高を低く解析する傾向がある。そこで、(株)アドイン研究所と協議し、OWL Manager に樹高補正機能を追加し、補正効果を検証した。

2 OWL 解析データを活用した施業提案作成システムの開発と現地検証

OWL Manager では、立木ごとにレーザが照射された幹部を地上高10 cm間隔で立木の直径リングを作成する。この直径リングを立木の細りとし、直径リングの中心線を立木の曲りと解析している。この解析データを活用し、立木ごとに原木生産を予測する施業提案作成システムを(株)アドイン研究所と開発した。

県内6林業事業者の皆伐事業地で地上レーザ計測を実施し、施業提案作成システムで生産予測を行い、原木市場での販売結果を生産結果として比較検証した。事業地1~3は、全木調査を、事業地4~6は、標準地調査を実施した。標準地調査の場合は、代表的な林相を樹種ごとに選択し、調査面積が0.05 ha以上になるよう設定した。樹高は任意に抽出した10本を現地実測し、OWL Manager により樹高補正を行った。

施業提案作成において、採材方法の選択は各林業事業者の生産方法にあわせ事業地1は最適採材、他の事業地は4 m 優先採材とした。その他の条件として、伐採高は地上高0.4 m、採材余尺は10 cm、末口径14 cm未満をバイオマス用材(以下、バイオ材)として統一した。また、本来は造材時に発生するロスを考慮し、安全率を乗じて材積を調整するが、歩留を検討するためロス0%とした。

結果および考察

1 地上レーザ計測による森林資源調査業務の省力化と高精度化の検証

1) 森林資源調査業務の省力化

8か所の人工林で行った従来手法と地上レーザ計測の計測時間を ha あたり計測時間に換算し比較した結果、平均で従来方式18時間50分/ha、地上レーザ計測6時間56分/haであった。(第1表)。地上レーザ計測導入により、24.1%~53.6%、平均36.9%の省力化を確認した。

2) 森林資源調査業務の高精度化

各調査地における従来手法に対する地上レーザ計測の誤差と誤差率を第2表に示す。誤差と誤差率は、平均胸高直径で0.2 cm、1.1%と精度が高いが、平均樹高で-4.5 m、-19.5%と精度が低い。これは前述のと

第1表 従来手法と地上レーザ計測の計測時間

調査地	樹種	従来手法(a)				地上レーザ計測(b)				効率 (b/a) %
		面積	本数	実時間	haあたり 計測時間	面積	本数	実時間	haあたり 計測時間	
		ha	本	h:m	h:m/ha	ha	本	h:m	h:m/ha	
1 大田東	スギ	0.13	122	2:30	19:13	1.08	1041	5:00	4:37	24.1
2 宮野	ヒノキ	0.09	98	1:29	16:28	0.09	98	0:33	6:06	37.1
3 檜皮	スギ	0.10	147	3:30	35:00	0.10	147	1:10	11:40	33.3
4 美東	ヒノキ	0.05	41	0:48	16:00	0.05	41	0:14	4:40	29.2
5 広狩	スギ	0.18	83	1:50	10:11	0.18	83	0:59	5:27	53.6
6 天尾	ヒノキ	0.07	73	1:40	23:48	0.07	73	0:43	10:14	43.0
7 坂根1	スギ	0.05	37	0:45	15:00	0.05	37	0:22	7:20	48.9
8 坂根2	ヒノキ	0.05	45	0:45	15:00	0.18	83	0:59	5:27	36.4
平均					18:50				6:56	36.9

注) 大田東の地上レーザ計測は全木調査、他は標準地調査を実施
 地上レーザ計測：OWL(アドイン研究所)を使用
 従来手法：胸高直径は直径巻尺を、樹高は超音波測定器を使用
 いずれも2名による計測で、除伐時間は含めない

第2表 従来手法と地上レーザ計測の誤差と誤差率

調査地	本数	平均胸高直径(cm)				平均樹高(m)			
		従来	レーザ	誤差	誤差率%	従来	レーザ	誤差	誤差率%
		a	b	b-a	(b-a)/a	c	d	d-c	(d-c)/c
1 大田東	121	29.4	29.6	0.2	0.7	18.8	15.7	-3.1	-16.5
2 宮野	96	25.9	26.4	0.5	1.9	21.9	18.2	-3.7	-16.9
3 檜皮	147	27.7	28.3	0.6	2.2	22.6	19.8	-2.8	-12.4
4 美東	41	27.2	30.3	3.1	11.4	23.2	19.6	-3.6	-15.5
5 天尾	73	26.8	27.2	0.4	1.5	26.1	18.6	-7.5	-28.7
6 広狩	86	38.5	38.1	-0.4	-1.0	26.5	19.1	-7.4	-27.9
7 坂根1	37	32.7	32.5	-0.2	-0.6	23.4	18.4	-5.0	-21.4
8 坂根2	45	29.9	29.5	-0.4	-1.3	19.4	16.0	-3.4	-17.5
9 坂根3	37	32.2	30.6	-1.6	-5.0	19.6	16.0	-3.6	-18.4
平均				0.2	1.1			-4.5	-19.5

注) 大田東の地上レーザ計測は全木調査、他は標準地調査を実施
 地上レーザ計測：OWL(アドイン研究所)を使用
 従来手法：胸高直径は直径巻尺を、樹高は超音波測定器を使用

おり、地上からレーザを照射するため、レーザが枝葉に遮られて樹頂点を計測することが困難で、樹高を低く解析するためである。

そこで、(株)アドイン研究所と協議し、OWL Managerに樹高補正機能を追加した。これは、現地です5~10本程度の立木の胸高直径と樹高を実測し、OWL Managerに数値を入力することで、樹高補正曲線(ネスルンド式)を自動生成し、これに基づいて調査範囲内の全立木の樹高を補正する機能である。

$$\text{ネスルンド式 } H=1.2+\{D/(a+b \times D)\}$$

H：樹高、D：胸高直径、a及びb：パラメータ

各調査地から胸高直径がばらつくよう任意に選んだ10本の実測値を用いて樹高補正を行った結果、平均樹高の誤差は-4.5mから0.6m、誤差率は-19.5%から2.7%と精度が向上した(第3表)。

第3表 従来手法と樹高補正した地上レーザ計測の誤差と誤差率

調査地	本数	平均樹高(m)			
		従来	レーザ 補正	誤差	誤差率%
		a	b	b-a	(b-a)/a
1 大田東	121	18.8	20.2	1.4	7.4
2 宮野	96	21.9	23.7	1.8	8.2
3 檜皮	147	22.6	24.4	1.8	7.9
4 美東	41	23.2	23.9	0.7	3.1
5 天尾	73	26.1	25.5	-0.6	-2.3
6 広狩	86	26.5	26.7	0.2	0.6
7 坂根1	37	23.4	23.1	-0.3	-1.2
8 坂根2	45	19.4	19.5	0.1	0.3
9 坂根3	37	19.6	19.6	0.0	0.2
平均				0.6	2.7

2 OWL 解析データを活用した施業提案作成システムの開発と現地検証

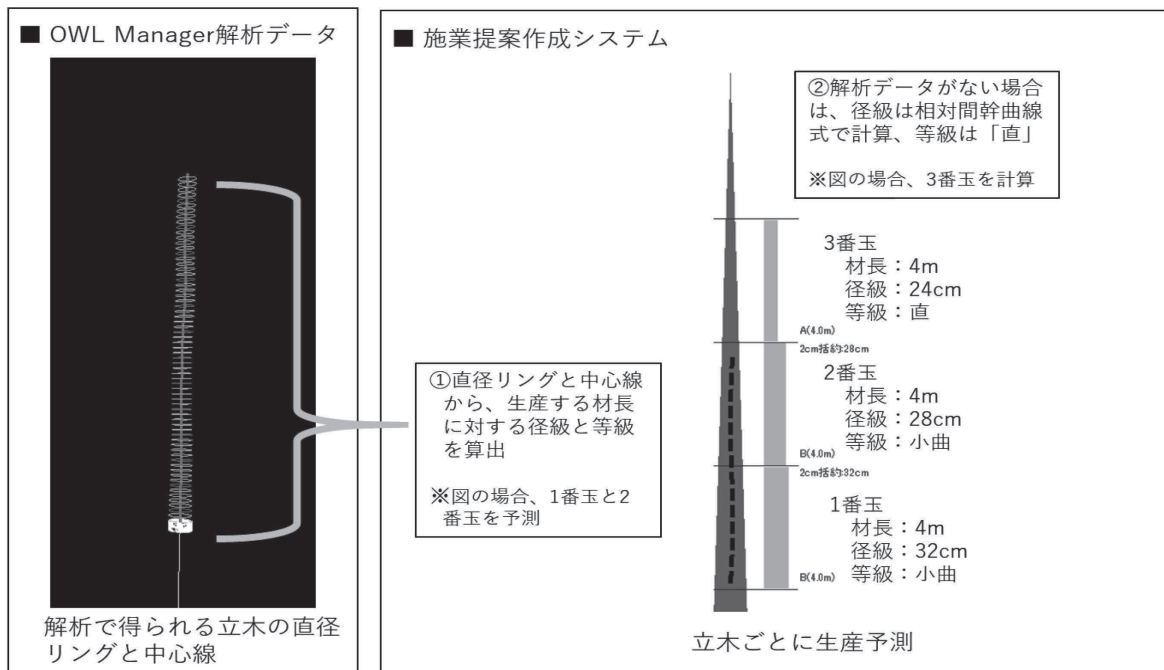
施業提案作成システムでは、OWL Manager で解析した直径リングの細りと曲りのデータを活用し、造材後の原木の材長、径級、等級を立木毎に予測するシステムである(第1図)。枝葉などの遮蔽によりレーザが当たらず直径リングを作成できない幹上部は、本県作成の相対幹曲線式(佐渡, 2005)により末口の細りを計算し、曲りはデータがないため「直」とするシステムとした。原木生産予測では施業提案作成システムに、原木の市場価格データを入力し、最適採材または優先採材のモードを選択することで、モード毎の原木生産予測ができる仕様とした。最適採材は原木形状(材長、径級、等級)毎の価格を基に1本の立木を最高価格で売る採材提案を、優先採材は3 mまたは4 mに設定した材長で造材した場合の生産予測を行うものである。

施業提案書作成システムの現地検証を6か所の皆伐事業地で行い、地上レーザ計測結果を第4表に、施業提案作成システムによる生産予測の結果を第5表に示す。

次に、各事業地の原木市場とバイオマスセンターへの出荷結果を生産結果としてとりまとめ、生産予測との比較を第6表と第2図に示す。ここでは、生産予測に対する生産結果の比率を歩留とした。

歩留は、原木本数0.57~0.83、原木材積0.60~0.81、バイオ材積0.20~1.80であった。また、各事業地内の原木本数と原木材積の歩留の差は、0.01~0.09であった。

生産予測では、各事業地で歩留の違いがあった。これは、林業事業体ごとのハーベスタ造材時の根元切落し長や、曲りや傷材部のカット調整などの採材方法の



第1図 施業提案作成システムの原木生産予測イメージ(4 m 優先採材の場合)

第4表 各事業地の地上レーザ計測結果

調査地	調査方法	樹種	面積 ha	立木 本数 本	立木密 度 本/ha	平均胸 高直径 cm	平均 樹高 m	立木 材積 m ³
事業地1		スギ・ヒノキ	1.21	1042	863	32.7	22.2	990.8
事業地2	全木調査	スギ・ヒノキ	1.02	722	709	31.4	20.2	562.8
事業地3		スギ・ヒノキ	1.00	721	721	34.8	24.4	846.9
事業地4	標準地 調査	スギ・ヒノキ	1.78	452	804	25.2	34.0	893.1
事業地5		スギ・ヒノキ	1.00	1138	1138	29.0	21.7	804.0
事業地6		スギ・ヒノキ	1.02	913	895	33.2	25.3	987.8

※ 樹高は任意に抽出した10本を現地実測し、OWL Managerにより樹高補正を行った

※ 材積は立木幹材積表近畿・中国・福井・石川地方の材積式による

第5表 各事業地の生産予測結果

調査地	採材計算	立木材積 (a) m ³	生産予測				計(b) m ³	採材率 (b/a)
			原木		バイオ材			
			本	m ³	m ³	t		
事業地1	最適採材	990.8	3,846	626.9	87.4	69.9	714.3	0.72
事業地2	4m優先採材	562.8	1,886	324.0	60.1	48.1	384.1	0.68
事業地3	4m優先採材	846.9	2,499	520.6	76.3	61.1	596.9	0.70
事業地4	4m優先採材	893.1	3,059	602.0	88.7	71.0	690.7	0.77
事業地5	4m優先採材	804.0	3,142	482.0	111.0	88.8	593.0	0.74
事業地6	4m優先採材	987.8	2,605	494.1	115.8	92.6	609.9	0.62

※ 採材計算は、採材ロス0%とした

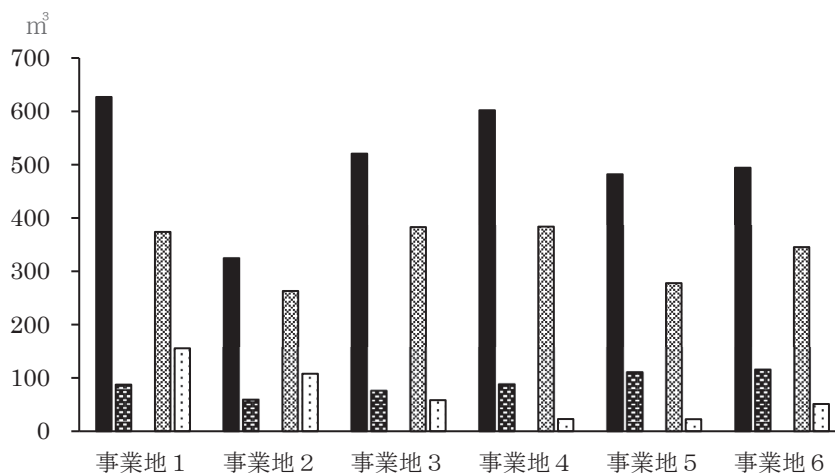
※ バイオ材は、材積(m³)を比重0.8で重量(t)に換算

第6表 各事業地の生産予測と生産結果の比較

調査地		原木		バイオ材		材積計 m ³ (b)	原木率 (a/b)
		本	m ³ (a)	t	m ³		
事業地1	生産予測	3,846	626.9	69.9	87.4	714.3	0.88
	生産結果	2,187	373.7	124.5	155.6	529.3	0.71
	歩留	0.57	0.60		1.78	0.74	
事業地2	生産予測	1,886	324.0	48.1	60.1	384.1	0.84
	生産結果	1,545	263.0	86.4	108.0	371.0	0.71
	歩留	0.82	0.81		1.80	0.97	
事業地3	生産予測	2,499	520.6	61.1	76.3	596.9	0.87
	生産結果	2,082	382.7	46.6	58.2	441.0	0.87
	歩留	0.83	0.74		0.76	0.74	
事業地4	生産予測	3,059	602.0	71.0	88.7	690.7	0.87
	生産結果	1,888	383.9	18.3	22.8	406.7	0.94
	歩留	0.62	0.64		0.26	0.59	
事業地5	生産予測	3,142	482.0	88.8	111.0	593.0	0.81
	生産結果	1,939	277.7	18.0	22.5	300.1	0.93
	歩留	0.62	0.58		0.20	0.51	
事業地6	生産予測	2,605	494.1	92.6	115.8	609.9	0.81
	生産結果	1,778	345.4	40.9	51.1	396.5	0.87
	歩留	0.68	0.70		0.44	0.65	

※バイオ材は、重量(t)を比重0.8で材積(m³)換算

※原木率は、材積(原木+バイオ材)計に対する原木量の割合



■生産予測 原木 ■生産予測 バイオ材 ▨生産結果 原木 □生産結果 バイオ材

第2図 各事業地の生産予測と生産結果の比較

違い、安価なバイオ材の搬出方針などの経営的な違いや、林分毎の台風やシカ等の被害状況が影響しているものと考えられる。例をあげると、台風とシカの被害を受けていた事業地1, 2のバイオ材の歩留は1.78、1.80と高く、これは末口径14 cm以上の材でも傷や腐れがあるとバイオ材として扱われるため、バイオ材の歩留が上がり原木率が低くなったためと考える。林業事業体毎の作業特徴や、林分状況により歩留を算出し、生産予測を調整することで、精度を向上させる必要がある。一方、原木の本数と材積の歩留は近似であり、従来手法では予測できなかった原木本数の積上げによる生産予測が可能となった。差がみられた事業地3は、予測に対し径級が大きな原木が少なく生産されたため材積の歩留が低くなったと推察された。

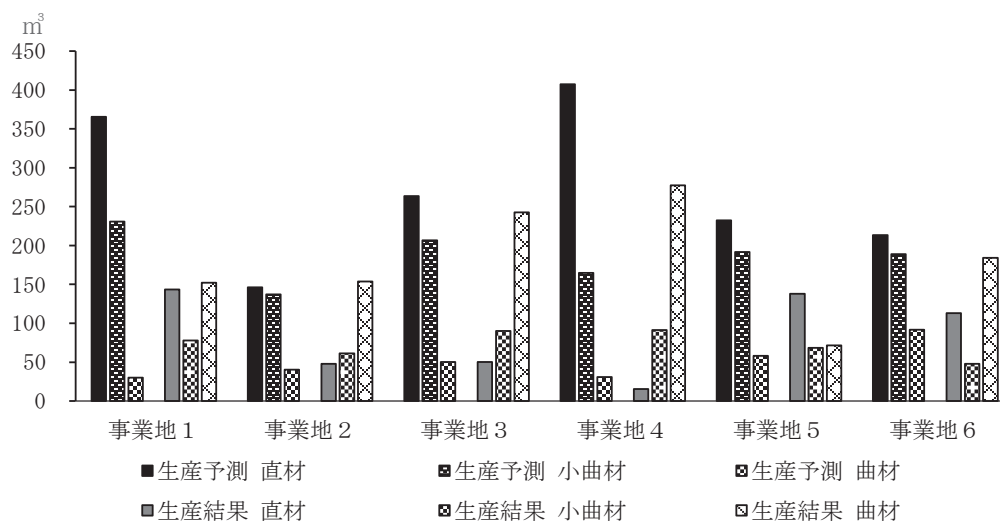
次に、各事業地の等級別の生産予測と生産結果を第7表と第3図に示す。生産予測では全調査地で直材の割合が高く曲材の割合が低かったが、生産結果では直材の割合が高かったのは事業地5のみで、その他5か所の事業地で曲材の割合が高かった。

等級予測の精度は低く、これは地上レーザが届かない立木上部や枝上は直径リングが形成されないため曲り判断ができないことと、地上レーザでは台風被害等の割れや腐れは判断できないことが大きく影響していると考えられる。等級予測の精度向上には、地上レーザ計測器本体の高精度化と等級調整機能の追加などのシステム改善が必要である。

第7表 各事業地の等級別の生産予測と生産結果

調査地	生産予測				生産結果			
	直材	小曲材	曲材	計	直材	小曲材	曲材	計
	m ³ %	m ³ %	m ³ %	m ³ %	m ³ %	m ³ %	m ³ %	m ³ %
事業地1	365.6 58	231.0 37	30.3 5	626.9 100	143.5 38	77.8 21	152.3 41	373.7 100
事業地2	146.2 45	137.3 42	40.5 12	324.0 100	47.9 18	61.2 23	153.9 58	263.0 100
事業地3	263.5 51	206.7 40	50.4 10	520.6 100	50.2 13	90.1 24	242.5 63	382.7 100
事業地4	407.2 68	164.7 27	30.9 5	602.7 100	15.5 4	91.1 24	277.3 72	383.9 100
事業地5	232.3 48	191.7 40	58.1 12	482.0 100	137.8 50	68.4 25	71.4 26	277.7 100
事業地6	213.6 43	188.7 38	91.8 19	494.1 100	113.0 33	48.0 14	184.3 53	345.4 100

注) %の計と内訳は四捨五入により端数処理しているため、必ずしも一致しない



第3図 各事業地の等級別の生産予測と生産結果

摘 要

林業事業体の経営効率化を目的として、地上レーザ計測器 OWL を活用し、森林資源調査業務の省力化と高精度化、生産予測の高度化を図った。その結果、省力化と高精度化が確認できた。次に、得られた高精度情報から立木毎に原木の径級、等級を 1 本単位で生産予測を行う施業提案作成システムを（株）アドイン研究所と共同開発し、皆伐事業地で検証した。生産予測は林業事業体毎の採材やバイオ材集材の考え方の違いや、台風等の被害状況に基づいて歩留で調整する必要があるが、材積と原木本数の歩留は近似であった。一方、曲りで評価する等級予測の精度は低く、精度向上には地上レーザ計測器本体の高精度化とシステム改善が必要である。

引用文献

- 千葉幸弘. 2017. 地上レーザ計測による森林調査のこれから. 森林科学 80 32-35
- 日本林業調査会. 1970. 林野庁計画課編. 立木幹材積表 西日本編 61-93
- 佐渡靖紀. 2005. 長伐期施業に対応する森林管理技術の開発-山口県スギ・ヒノキ人工林樹幹細り表の作成. 山口県林業指導センター試験報告第 18 号 1-26