

林地残材のチップ化作業

— グラップル作業の分析 —

小澤 雅之

Analysis of Forest Residues Chipping Process in Biomass Boiler Plant

Masayuki OZAWA

Abstract : This study identified analysis of forest residues chipping process in biomass boiler plant. This biomass boiler is the first plant in the Yamanashi area. But this plant does not have a chipping line. So, chipper machine, timber grapple and forklift with small bucket are in use for forest residues chipping process at this plant. There was no difference in the labor efficiency between timber grapple and small bucket about put on the forest residues in the chipping machine. But the management of forest residues is necessary for improvement of the labor efficiency for chipping process about using timber grapple.

要旨 : 山梨県地域において初となる本格的なバイオマスチップボイラが稼働しているが、ボイラへ投入するためのチップ化専用ラインは併設されていない。そこで、林地残材を施設内でチップ化する作業について分析を行った。グラップルを用いて林地残材をチップ機および小型バケットに投入したが、作業にかかる時間に差異は認められなかった。しかし、グラップルによるチップ化の効率を向上させるには、林地残材の発生時からの適切な管理、運用が必要である。

Key words : forest residues, biomass, chipping

1 はじめに

地球温暖化防止対策の観点から化石資源の代替エネルギー開発は急務である。北欧では既に主伐等で発生する末木枝葉や根丸太など用材として活用できない部位をエネルギー用材とみなし、林内に放置することなくエネルギー源として積極的に活用¹⁻²⁾し、化石資源の代替化に成功している。日本では、2002年12月に「バイオマス・ニッポン総合戦略」が閣議決定され総合的な施策の推進が図られてきたが、その中で現在ほとんど利用されていない林地残材の利用を促進していくことが必要であるとされている。今後、林地残材の利用を促進させるためには、いくつかの要因が必要になる。特に重要なのは、林地残材の具体的な需要先の確保である。木質バイオマスをエネルギー利用³⁾する際の有効な手段として熱源利用

が考えられる。しかし、日本では木質バイオマスをエネルギー変換できる施設が非常に少なく、また需要先においても化石資源中心の考え方が依然根強い。そのため、資源として認識されても、それを具体的に活用できないという事態に陥っている。

一方、山梨県地域では NEDO の補助事業により地域で初となるバイオマスボイラが導入され 2007 年度より各種実証試験が本格的に開始されている。この実証事業で使われているバイオマスチップボイラの熱源として、地域で発生する林地残材も活用されている。林地残材のチップ化については移動式チップ機が試験的に用いられているが、これ以外にボイラへ投入するチップ化専用ラインは併設されていない。そのため、実際に林地残材が搬入された場合、敷地内の現有機材等と併せてチップ化を行っているのが現状である。

そこで、現在ボイラ施設で実際に行われている林地残材

のチップ化の作業分析を行うことで、林地残材のチップ化における問題点を抽出し、今後本格化するであろう林地残材のチップ化作業の効率化について検討することとした。本報では、搬入された林地残材を直接取扱うグラップルマシン（以下、グラップルと略）の各種作業について検討を行った。

2 調査・解析方法

2.1 録画方法

バイオマスボイラが設置されている施設で実際にチップ化作業の様子をビデオ録画し、その映像をもとに作業分析を行った。時間等はビデオ映像に記録されていた時刻をもとにした。

2.2 使用した重機

本作業に用いたグラップルは、ベースマシンとして新キャタピラー三菱株式会社製 308 CCR、グラップル部にはオカダアイオン株式会社製 OSG-25 R を用いた。チップパー機はフィンランド製の TOPGRINDER ROTO 300 F を用いた（図1参照）。



図1 今回の作業で用いた重機
(左：グラップル、中：フォークリフト、右：チップパー機)

2.3 作業項目の分類

作業項目の分類として、グラップルの基本動作を『駆動』、『旋回』および『保持』の3つに大別した。また、積み込み作業現場におけるそれ以外の基本動作として『整理』および『その他』の2つに大別した。大別した分類についてさらに細分し、『駆動』では「前進」、「後進」、「停止」および「方向転換」の4つとした。「前進（後進）」とは、グラップルの前方向（後ろ方向）への自走を示す。「停止」とはグラップルの動きが旋回運動も含め完全に停止した状態を指す。また、「方向転換」とは、グラップルキャノピー部の旋回を意味する。『旋回』では「実旋回」、「積み込み実旋回」、「空旋回（横）」および「空旋回（縦）」とした。「積み込み実旋回」とは材を積み込む目的で実際に材を掴んだ状態で旋回すること、「実旋回」は材を掴んだままでの旋回を意味する。また「空旋回（横）」

は空荷の状態におけるグラップルアームの水平移動、「空旋回（縦）」はそれの垂直移動を示す。また、『保持』では「材掴み」、「荷下ろし」、「材離し」および「圧縮作業」としたが、「材掴み」とは材を掴む行為全般、「荷下ろし」とは目的地に材を下ろす行為とし、「材離し」とは掴んでいた材を単純に離す行為とした。また、「圧縮作業」とはバケット等へ積載する時にグラップルの先端で材を圧縮させる作業とした。『整理』として、「土砂等落とし」、「材の選別」および「土場整理」に細分したが、「土砂等落とし」とは材を掴んだまま振り揺すり、付着した土砂等を落とす作業全般とした。「材の選別」は残材塊の中から積み込む材を選別する作業全般、「土場整理」はグラップル近辺の土場をグラップルアーム等で整理する行為全般とした。また、『その他』として「うち合わせ」を設定したが、これは一連の作業が全面的に中断され、作業員間における伝達等全般とした。これらの細目を設定することで一連のグラップル作業動作を区分することが出来た。なお、グラップルのエンジン始動、停止、乗務員の乗車および降車についてはここでは加味していない。

3 結果

3.1 チップパー機への投入作業

大型トラックにて伐採跡地付近に堆積されていた林地残材をボイラ施設まで陸送したが、大型トラックではチップ化施設へ直接乗入れることができないため、ボイラ施設内の土場に一度荷下ろしをした。そのため、その土場からチップ化施設まで改めて林地残材を搬送させる必要が生じた。そこで、林地残材を予めチップ化施設内にあるチップパー機横まで運び込み、そこからグラップルによりチップパー機へ投入する方法と、土場においてグラップルによりバケットを装着させたフォークリフトへ材を積載し、そのフォークリフトによりチップパー機へ材を投入する方法の2通りを行った。グラップルの操縦者は両方も同一の人物であった。図2にボイラ施設内の概略を示す。

林地残材を土場から運ぶ際に予め丸太状のものとそうでないものを選別しチップパー機横に区別して置いた。チップパー機横に予め林地残材を運び込み、積み上げた状態からチップパー機へ投入する試験を行った。表1にグラップルにおけるチップパー機への投入作業分析の結果を示す。

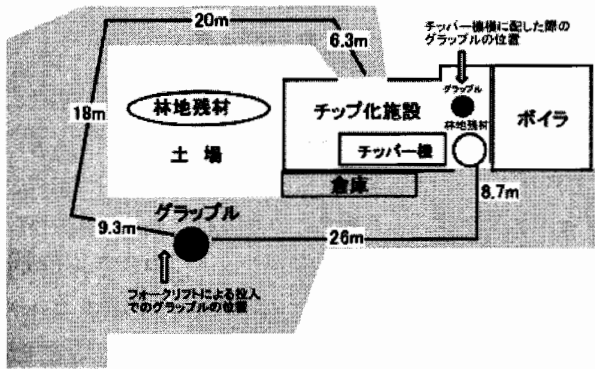


図2 ボイラ施設内の配置

表1 チッパー機への投入作業分析

作業項目	作業時間	
駆動	前進	9(0.7)
	後進	0(0)
	停止	28(2.1)
	方向転換	0(0)
旋回	実旋回	0(0)
	積込実旋回	249(18.8)
	空旋回(縦)	0(0)
	空旋回(横)	273(20.6)
保持	材掴む	557(42.1)
	荷下ろし	87(6.6)
	材離し	38(2.9)
	圧縮作業	0(0)
整理	土砂等落とし	6(0.5)
	材の選別	0(0)
	土場整理	59(4.5)
その他	打ち合わせ	17(1.3)
全時間		1323(100)

単位は秒、()内は割合%を示す

今回の結果では『保持』および『旋回』の作業がほとんどを占め、『駆動』や『整理』の作業はほとんど無いことがわかる。『駆動』や『整理』はチップ化作業には直接影響しないため、これらの割合が少なければ効率的なグラップルの運用が行われていたと考えることが出来る。作業の細目を見ても「材掴む」作業が最も多く、全作業の42.1%を占めた。次いで「空旋回」、「積込実旋回」の順となった。チップを投入する基本パターンは概ね次の通りである。まず、グラップルアームの先端爪部を開口させ、対象物に近づき、材を掴む。そして掴んだ後吊り上げ、積込むための「積込実旋回」が行われる。チップパー機投入口上空まで旋回したら、先端爪部から材

を落下させ（「材下ろし」）、全ての材を投入したら再び残材塊上空までグラップルアームが旋回し（「空旋回横」）、材を掴む作業となる。この繰り返しによりチップパー機への投入作業が行われている。なお、投入された材がチップパー機を通過するのに、材によりその時間が変動し、この施設では概ね1分要した。

今回、ボイラ施設内の土場から搬送させる際に、ある程度の直径を有し、材長がある丸太状の林地残材とそうでない未木枝葉状の林地残材との区別がなされていた。そのため、ある程度同類の材をまとめてチップパー機へ投入することができ、グラップル操縦者はチップ化作業に専念出来たものと思われる。さらに、チップパー機横に林地残材がまとめて配置されていたため、ほぼグラップルの旋回領域内で投入作業が完結し、材を掴むためにグラップルが自走するなど作業の中断が生じなかった。今回のチップ化作業では11.73 m³の林地残材をチップパー機へ投入するのに22分3秒要した。

3.2 フォークリフトバケットへの投入作業

ここではグラップルが土場の林地残材をフォークリフトバケットへ投入し、そのフォークリフトがチップパー機まで自走し投入する方法について検討する。

前述と同様に、グラップルの動作を解析した結果を表2に示す。

表2 小型バケットへの投入作業分析

作業項目	作業時間	
駆動	前進	45(1.4)
	後進	63(2.0)
	停止	199(6.3)
	方向転換	0(0)
旋回	実旋回	373(11.8)
	積込実旋回	318(10.1)
	空旋回(縦)	7(0.2)
	空旋回(横)	336(10.7)
保持	材掴む	734(23.3)
	荷下ろし	294(9.3)
	材離し	99(3.1)
	圧縮作業	8(0.3)
整理	土砂等落とし	241(7.6)
	材の選別	189(6.0)
	土場整理	138(4.4)
その他	打ち合わせ	110(3.5)
全時間		3154(100)

単位は秒、()内は割合%を示す

チップ機横ではほとんど『駆動』に費やす時間が少なかったが、今回はある程度時間を要した。また、「材掴む」作業が前述では最も多かったが、今回の作業では、他の作業項目が増加したため相対的に占める割合が減少した。逆に前述では「実巡回」がなかったにもかかわらず、今回は「実巡回」が約12%占める結果となった。「実巡回」は主目的地とは異なる場所に材を移動させる行為であり、これ以外にも他の作業項目が増加したことは、グラップルの作業が煩雑化したと考えられる。特に顕著なのが「土砂等落とし」や「材の選別」など『整理』の作業の占める割合の増加である。林地跡地等にそのまま堆積された林地残材をそのままは持ち込んだため、丸太状や末木枝葉状が非常に入り組んだ雑多な状態であった。フォークリフトバケットはチップ機投入口よりも小さな開口面積しか有しておらず、積載量にも限界がある。そのため、全てのものをそのまま積載できないので、バケットの形状、積載量に応じたものをグラップル側で用意しなければならない。そのため、グラップル操縦者は積載する前に予めフォークリフトに応じた材を選別・準備する作業が生じ、そのことが「実巡回」の増加として反映された。また、搬入された林地残材には多量の土砂等が付着しており、これらはチップ化する際の障害となるばかりでなく、ボイラへ投入すると悪影響を及ぼす。そのため、土砂等をふるい落とす作業が必要となった。これら一連の行為はチップ化とは直接関係のない作業である。特に土砂等の付着は、林地残材の品質管理において極めて重要なことである。林地残材が市場で取引されるときに、価格の決定には主に質量値が参考に用いられるが、土砂等が付着している場合、適切な価格決定が困難になるばかりか、受け入れ先でもバイオマス燃料とは全く関係のないものまで受け入れることとなる。従って、林地残材に土砂等が付着しない方法や技術等を早急に確立する必要がある。

また、グラップルの『駆動』が多くなったのは、次の理由からである。搬入された林地残材はトラックのダンプ機能により縦長に荷下ろされた。そのため、ある程度材をフォークリフトに積込み、材がなくなったら次の場所に移動しなければならなかったこと、そして積込み終わった場所を片づけるために、グラップルに装着されている廃土板を使って土場の整理をする必要が生じたためである。今回は15.53 m³の林地残材をフォークリフトで搬送させるためにグラップルが要した作業時間は52分34秒であった。

3.3 投入先による作業時間の差異

同じグラップルを用いて別の対象物に投入する場合、作業一回当たりにより要した時間について検討した。まず、「材掴み」において費やした時間の割合を図3に示す。チップ機へ投入した場合、5～8秒のところに分布のピークが認められるが、小型バケットの場合では一回当たり5～6秒のところにピークが認められた。また、前者の場合最長17秒要した回があったが、後者では一回で47秒要することがあった。これは前述の通り、チップ機と比較すると小型バケットへは少量しか積載することができないので、比較的短時間で掴むことが出来たことと、材塊から小型バケットに適切な材を収集・選択するために時間がかかったためと考えられる。

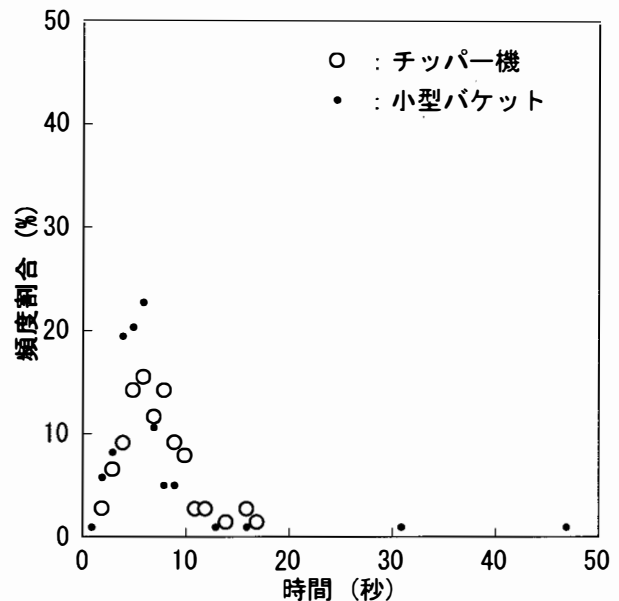


図3 「材掴み」に要した作業時間の割合

次に、「積込実巡回」において費やした時間の割合を図4に示す。チップ機への投入では2～4秒と短時間域にピークがあるが、10秒のところにも小さなピークが存在した。一方、小型バケットでは2～5秒にピークがあり、13秒要した回もあった。チップ機で時間を要したのは、「積込実巡回」へ作業が移行しても、チップ機側のチップ化が未了のため投入できず、この作業で時間調整していたためである。

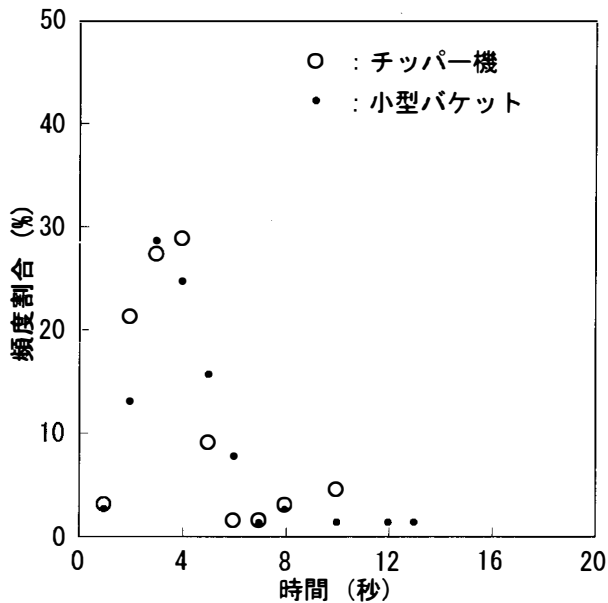


図4 「積込実旋回」に要した作業時間の割合

積込みが終了した後の「空旋回」において費やした時間の割合を図5に示す。両者とも3～5秒のところにピークがあり、著しい差異は認められない。チップー機へ投入した際に17秒要したことがあったが、これもチップ化が完了していないための時間調整であった。

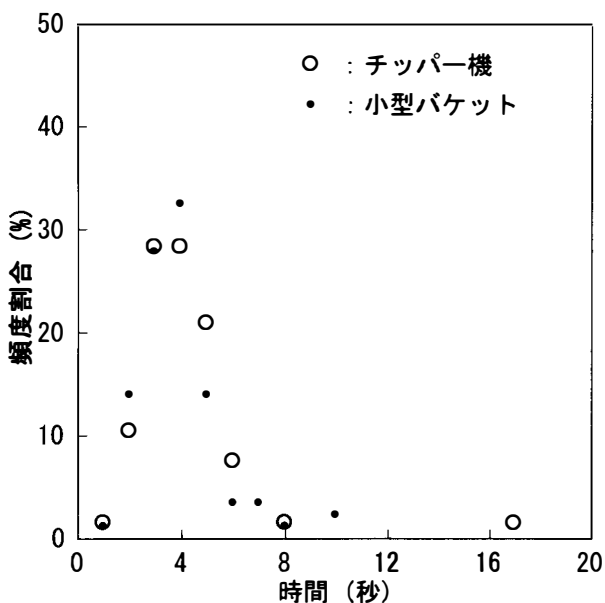


図5 「空旋回」に要した作業時間の割合

以上のことから、グラップルを用いて林地残材を移動させる場合、その対象がチップー機および小型バケツト

であっても「材掴む」、「積込実旋回」および「空旋回」作業に費やす時間に著しい差異は認められなかった。

4 考 察

今回のようにチップ化製造ラインを有していないボイラ施設では、何らかの方法で独自にチップ化のためのシステムを構築しなければならない。生産性を高めるためには、個々の作業効率を上げ極力単純化すればよいが、そのためには現有する機械類の運用パターンを想定し、それらが実際に効率的に運用できるかを実証していく作業が必要となる。しかし、一部分を高効率化しても、他の部分に過負担がかかることも考えられ、機械類を運用するには人員や諸経費および外部エネルギーも必要となるため、単純な個々の運用効率だけでは解決できない。従って、システム全体を精査しながらバランスを保つことが必要となる。また、全体のエネルギーバランスを最小にすることで、バイオマスエネルギーのポテンシャルを最大限に発揮できることにつながる。

今回は、バイオマスを移動させるときに必要なグラップルの作業について検討を行った。グラップルを効率的に運用させるためには、材の移動に極力専念できる環境を構築することが必要であり、そのためには対象となる材を予め選別分別ならびにチップ化できるような状態にしておくことが効率的であると判明した。しかし、林地残材の現状⁴⁾を考えると、今の状態のままエネルギー用材として利用する場合、搬入先において相当な労力を要することが容易に考えられる。今後、林地残材をエネルギー源として活用するためには、発生時から適切な管理・運用が必要である。

引用文献

- 1) 森塚秀人：日本エネルギー学会誌，85 (11)，868-875. (2006).
- 2) Eija Alakangas：Proceeding of Bioenergy 2007 The 3rd International Bioenergy Conference and Exhibition, 127-134. (2007).
- 3) 松崎武彦：季刊木質エネルギー，18，18-21. (2007).
- 4) Masayuki Ozawa, Hiroshi Saito, Osamu Akiyama, Shigeki Kobayashi, Masahiro Iwaoka, Satoshi Otuji：Proceeding of Bioenergy 2007 The 3rd International Bioenergy Conference and Exhibition, 265-268. (2007).