

## 第3部 バイオマスの物理的変換

### 3.1 薪生産

#### 3.1.1 総論

薪は古典的なエネルギー源であり、現在でも多くの途上国では重要な民生エネルギー源である。20世紀後半、石油によって用途の多くを奪われたとはいえ、伐採される木材の半分以上を薪が占めており、世界エネルギー消費の14%、途上国では36%に達する。

しかし地域によっては人口増加とともに木がしだいに減少し、薪収集が遠距離化して調理用の薪さえ集めにくくなっている。アジアにおいては、急傾斜の山林からの搬出が困難で林地の多くの資源は使い難い状態にある。

Fig. 1の左側、原木からの炉前までの薪供給サイドにおいては、現在、その資源量問題よりも圧倒的に原木搬出段階でのエネルギー消費（あるいはコストアップ）が大きな課題になっている。補助すべき外部エネルギーを $*e$ 、薪として使用可能なエネルギーを $E$ とすれば $*e$ の総和が大きくなり

$$\Sigma *e > E$$

となれば、エネルギーシステムとして成立しなくなる。この課題は、炉における使い易さを求めてチップ化やペレット化など加工度を高める場合においても重要である。

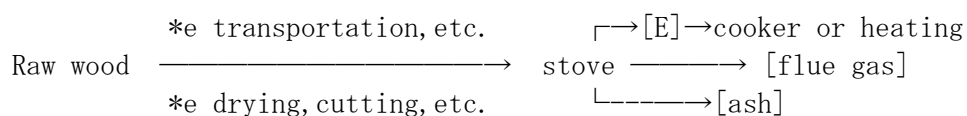


Fig. 3.1.1. Material- and energy-flow around stove in firewood system  
 $*e$ : energy supply from outside,  $E$ : useful energy

また Fig. 3.1.1の右側、薪使用サイドにおいては、特に旧式のかまど型の厨房機器のエネルギー効率が低いことが重大な問題である。

さらに、不完全燃焼を伴い易い小型燃焼器具においては室内空気の衛生などが問題視されている。煤塵、一酸化炭素 (CO)、タール分、メタン外揮発性有機物 (NMVOC)、多環芳香族 (PAH、発ガン性)

などが指摘されている。

薪燃料の灰分は石炭の灰分（10%前後）に比べて約1桁低いため、ふつう大問題にならないが、排出は物質バランス上、重要である。木灰は重要な肥料成分、カリウムを多く含むのでシステムの持続可能性を維持するには、林地への返送・還元が必須である。

草本植物には、灰分が木質の5-20倍も多く含まれるので、ワラ、モミガラ、バガスなどから人工薪を作る場合には、灰の処分はシステムの行方を左右する問題になる。

なお、植物体の発熱量はいずれの樹種でも絶乾物は約20GJ/t（石油の約半分）であり、ほとんど含有水分によりきまる。さらに、かさ高のため長距離輸送に向かない。中山間地域の里山林における木質燃料利用が叫ばれるゆえんである。

### 3.1.2 薪の供給

薪の資源量の前提を考察する。FAO（国連食料農業機関）によれば世界森林面積は39.5億haで僅かに減少(-0.2%/年)傾向にある。そして森林の1次成長量は、51億m<sup>3</sup>/年以上と推定されるのに対して丸太総生産量は産業用材16億m<sup>3</sup>、燃料材18億m<sup>3</sup>と小さい。そして森林面積一定でもより成長速度の高い人工林が少しずつ増加しているので、当分の間は緩やかな経済成長に見合う程度の供給増大には耐えられる。

さらに用材生産ではそれに見合う林地残材、間伐材が発生しているため、もし搬出・輸送技術が発達すれば、供給可能量は飛躍的に拡大する。だが日本およびアジア各国に多い急傾斜山林からの搬出は、Fig. 3.1.2における\*e-1が非常に大きくなるため資源利用不能になっている現状がある。\*e-1は距離に比例し同時に勾配の数乗に比例するとみられるが、詳細な評価研究はまだなされていない。かさ密度は輸送性を支配する重要因子である。充填率はばら積み柴1/4~1/3、チップで最高1/2、ペレットで0.6程度である。

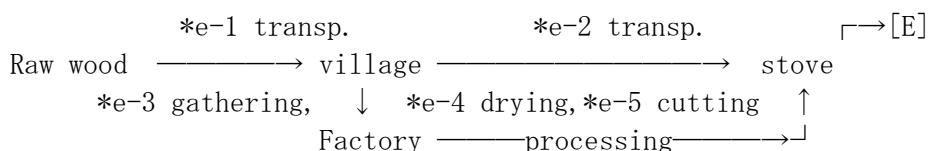


Fig. 3.1.2 Material- and energy-flow before stove in firewood system  
\*e1, \*e 2, \*e 3... :energy supply from outside,

急傾斜輸送は、日本のNPOによってスライダを使って山林からふもとの里山村まで搬出する実験

(Fig. 3.1.3) が行われた。小径木を対象にして 20 度程度の勾配において山中の柴類搬出に成功している。無動力・省力的で、傾斜利用できる点で注目に値する。

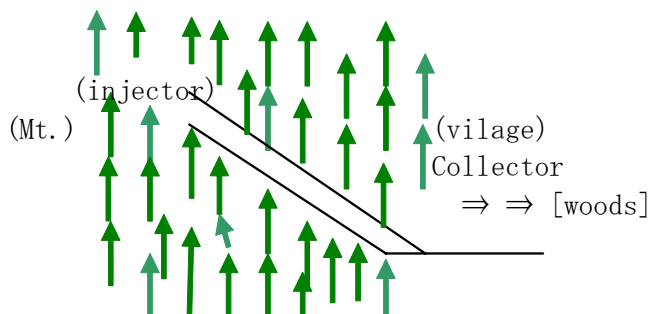


Fig. 3.1.3. Carrying-out system for mountain- fire woods

原木を薪にするには炉の奥行きが 50cm 未満であるため、玉切りを行う。また燃焼性を改善へ向けて表面積を拡大するため薪割りをして長短比（アスペクト比）が 10-20 に調整する。これらの制限は結構煩雑であるため、碎木を圧密し中空の円柱状にした人工薪（例：オガライト、本稿 3.2 Pelletizing 参照）などが登場している。比表面積の拡大、自動供給性の向上などのためチップ化やペレット化など加工度を高めると次の順序に並ぶが、同時にプロセスエネルギー消費(\*e-4、\*e-5)およびコスト上昇も避けられない。

Raw wood > fire wood > chips, briquette > pellet

薪の水分は、生木のままで約 50%、風乾物では 15-30%（気候による）である。いずれも可燃性であるが、水の吸熱量（-2.26GJ/t）の分は確実にエネルギー損失する。一般バイオマスでは含水分が 2/3 を越せば、まだ発熱量は残っていても、火炎温度に到達できなくなるため失火するのが普通である。なお、薪の乾燥処理はプロセスエネルギー消費を起こすが、燃焼時の発熱量増大により一部分は取り戻せる。

### 3.1.3 薪の利用

薪は簡単な器具で燃焼できるが、下記のような燃焼モードの変遷を伴うので制御は複雑になる。チャー（炭化物）燃焼は全燃焼の約 10-20%である。

燃焼加熱乾燥 → 加熱乾留 → 火炎燃焼 → チャー燃焼

(~150°C, 吸熱) (250~400°C, 吸熱) (主たる燃焼) (おき火: 緩慢燃焼)

もし空気供給が不足であると、乾留段階からはもっとも有害なタールが発散される。火炎燃焼では不完全燃焼でCOと煤塵(炭粒)が発生し、タールの一部から熱分解で発ガン性のPAHも生成する。

Fig. 3.1.4 の排煙に、これら汚染物質が入ってくるのを防止するために理論空気量よりも少し過剰の空気を使い、高温と酸素濃度を維持する。

安全な薪燃焼には空気比 1.25~1.4 が一般に用いられる。空気比を上げ過ぎると火炎が希釈され温度低下するので、過剰空気を 2 次空気として分離供給するとよい。空気比 1.0 に接近しても完全燃焼させるために、燃焼触媒網を上置する装置が市販されているが、通気が悪くなることおよび触媒劣化で毎年更新管理などの煩雑さがある。

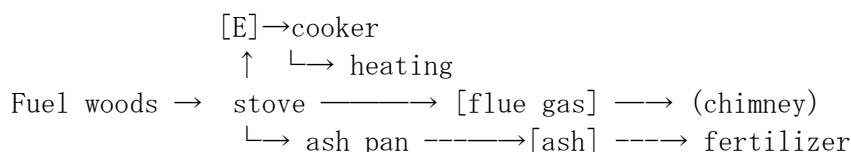


Fig. 3.1.4 Material- and energy-flow after stove in fire wood system  
\*e1、\*e 2、\*e 3・・・ :energy supply from outside,

Fig. 3.1.4 の上部には、熱利用を示す。暖房には熱損失が少ないが、調理用には鍋への熱伝導が必要のため有効な熱が取りにくく、調理兼用暖房機の工夫の要るところである。

ストーブの天板の最高温部位を調理鍋に指定するのが一般的である。沸騰する必要のない温水給湯用には、より低温の天板が割り当てられる。

## 参考文献

- Forestry and Forest Products Research Institute, Japan, Ed. (2006) : "Shinrin ringyono shorai yosoku", p.31, p.411 (in Japanese) .  
 H.Sano : J.J.Soc.Mec.Eng.(2005), 108(1045), pp.926-927. (in Japanese) .  
 T.Ogi in "Biomass Handbook",Japan Institute of Energy Ed.,Ohm-sha,2002,p.5 and p.16 (in Japanese)

## 3.2 ペレタイジング

### 3.2.1 ペレットとペレタイジングとは

ペレタイジングとは原料をペレット形状に加圧成型することを言う。固体燃料、薬品、飼料、鉱石など広範囲な原料がペレット化可能である。固体燃料に関して、それらは木質ペレット、オガラ

イト（木質ブリケット）石炭ブリケットあるいは複合燃料と呼んでいる。Fig. 3.2.1 (a)に示した木質ペレットは鋸屑、研磨屑から製造している。直径は6～12 mmで長さは10～25 mmである。Fig. 3.2.1 (b)、(c)は大型サイズの木質ペレットでそれぞれオガライト（木質ブリケット）と籾殻ブリケットである。直径は50～80 mm、長さは300 mmである。Fig. 3.2.1 (d)は石炭とバイオマスの複合燃料でCCBあるいはバイオブリケットと呼んでいる。



(a) Wood pellet  
Japan

(b) Ogalite  
Japan

(c) Rice husk briquette  
Nepal

(d) CCB  
Japan

Fig. 3.2.1. Various types of briquette.

### (a) 木質ペレット

籾殻ブリケットは別にして木質ペレットと木質ブリケットは以下に示した製造工程を経て生産される。

#### (1) 乾燥工程

一般に原木の含水率は50%程度で原料の粉砕およびペレット化に適した水分値10～20%にするために乾燥する必要がある。大きいサイズの原料はロータリーキルンで乾燥し、小さいサイズの原料は気流乾燥機で乾燥するのが一般的である。

#### (2) 粉砕工程

原料は製造するペレットのサイズに合わせて粉砕する。とくに全木あるいは大型サイズの木質の場合、乾燥後の含水率を一様にするため、乾燥前に粉砕する。また、原料が籾殻の場合にはこの工程は必要ない。

#### (3) ペレット製造工程

ペレット製造装置はFig. 3.2.2と3.2.3に示したように原料供給装置、ローラー、ダイスから構成されている。Fig. 3.2.2に示した装置は木質ペレット製造装置で、この型のペレット製造装置は世界的にもっとも一般的なものとなっている。Fig. 3.2.3木質ブリケット製造装置および籾殻ブ

リケット製造装置の概略図である。

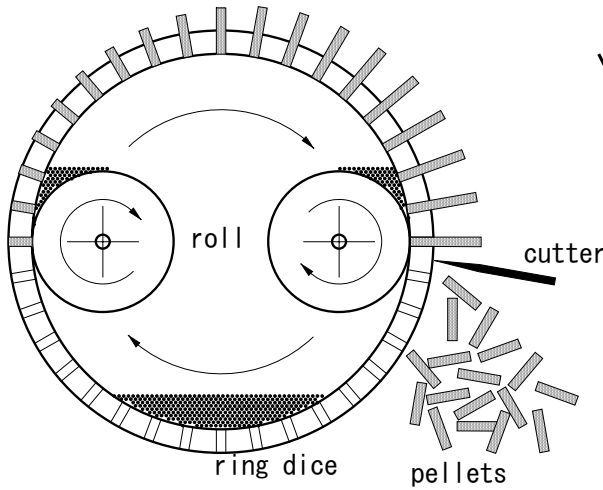


Fig. 3.2.2. Pelletizer for wood pellet.

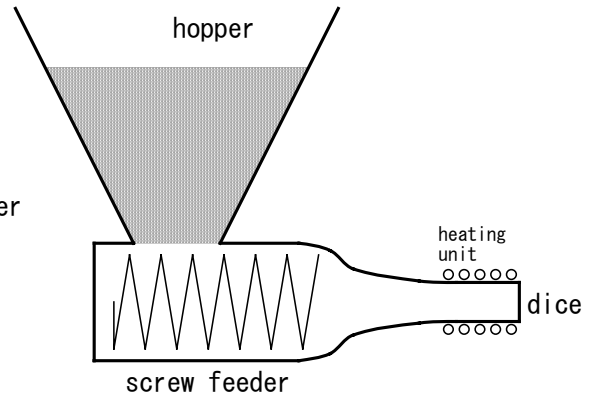


Fig. 3.2.3. Briquetting machine for wood and rice husk briquette.

(4) 冷却工程

製造直後のペレットは高温・高湿度状態であるため冷却する必要がある。

(5) 選別工程

不良品は選別機で取り除かれ原料乾燥用のエネルギーとして利用される。

**(b) CCB (石炭とバイオマスの複合燃料；バイオブリケット)**

CCB は第二次オイルショックを契機に灯油代替燃料として日本で開発された。石炭とバイオマス (ともに 2 mm 以下の粒度) を混合し Fig. 3.2.4 に示した装置で高圧成型した石炭ブリケットの一種である。CCB の基本的な原料配合比は重量比で石炭 70~90%、バイオマス 10~30% で脱硫剤として当量比 1~2 の消石灰あるいは石灰石を配合することもある。石炭はリグナイトから無煙炭まで広範囲に利用でき、バイオマ

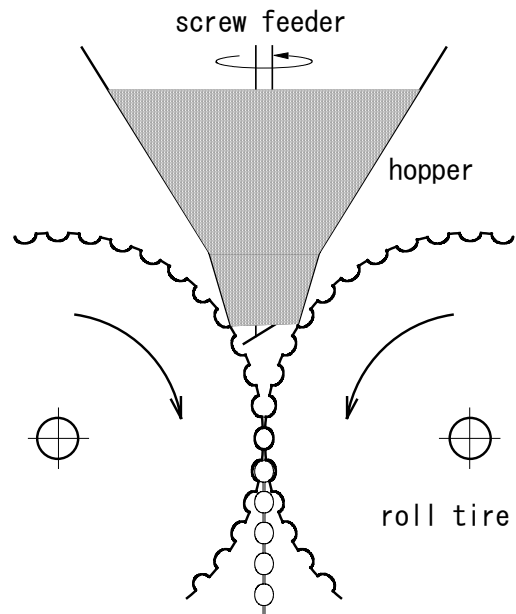


Fig. 3.2.4. Briquetting machine for CCB.

スは農産廃棄物、廃材など植物性のものであればほとんどが利用可能である。この成型燃料の特徴はバイオマスを混合しているため着火性・燃焼性が良好で煤煙の発生が少なく、燃焼効率が高いため省エネの効果がある。脱硫剤を配合することによって亜硫酸ガスの発生を 50～80%抑制できる。この技術はクリーンコールテクノロジーとして多数の国へ技術移転され薪・石油・炭の代替燃料として有望視されている。とくに中国においては省エネ、二酸化炭素発生量の削減、酸性雨の防止の手段として技術支援要請が増加している。

### 3.2.2 ペレットと CCB の特徴

#### (a) 木質ペレット

木チップ、薪と比較した木質ペレットの特性は以下の通りである；ハンドリング、着火、燃焼が簡単である、燃料の形状、性状が一様である、燃焼時の有害ガスの発生が少ない、輸送効率、エネルギー密度が高い。

#### (b) CCB

CCB にはバイオマスを 10～30%配合している。一般に、バイオマスは、発熱量が低い低いという欠点がある反面、着火性、燃焼性に優れ、煤煙発生量、灰分量が少ない石炭にはない特性を持っている。この特徴が低品位炭の利用を可能としている。

### 3.2.3 ブリケット製造のための基礎試験

#### (a) 木質ペレット

ペレット製造に影響を大きく及ぼす因子として圧力、温度、圧縮時間、原料粒径、水分、化学成分が考えられる。ペレット製造の境界条件については未だ不明確な点が多くオペレータの経験を基に製造条件を決定しているのが現状である。原料によって異なるがその値は成型圧力は 70Mpa、成型温度は 100～150℃である。しかしながら、木質に含まれるリグニン、糖質、ペクチンがバインダーの役割をしているのは疑う余地がない。

#### (b) CCB

CCB の製造には、高圧ロールタイプ成型機を使用している。タブレットテストは CCB を製造する前の基礎試験である。この試験は最適な物理的特性および燃焼特性を持つ CCB を生産するための成型圧力、成型温度、原料混合比などの諸条件を決定する必要不可欠な基礎試験である。

試験用タブレットは小型プレス金型(d=25 mm)に、石炭とバイオマスの混合試料を入れ、所定の成型温度と成型圧力で成型して製作する。タブレットの強度測定は直径 20 mm の綱球による球面圧

縮を採用した。Fig. 3.2.5 および Fig. 3.2.6 に示したように木粉混合量の増加、成型温度の上昇、成型圧力の上昇によってタブレットの破壊強度は増加する。とくに、成型温度が 50℃以上では急激に破壊強度が高くなる。この条件では通常のハンドリングに充分耐える破壊強度 100 kN の CCB の成型が可能となる。なお、高圧ロールプレス成型機では製造時にロールタイヤと原料との間に剪断応力が生じ、原料はおよそ 70~80℃に加熱されるため、著しく成型性の悪い原料を利用しない限りブリケット製造時には加温の操作は行わない。

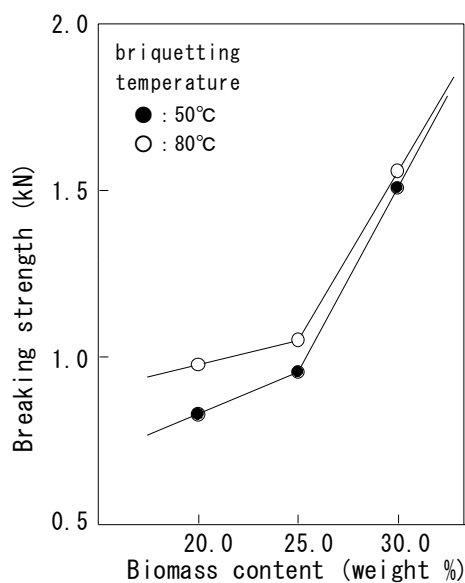


Fig. 3.2.5. Effect of biomass content

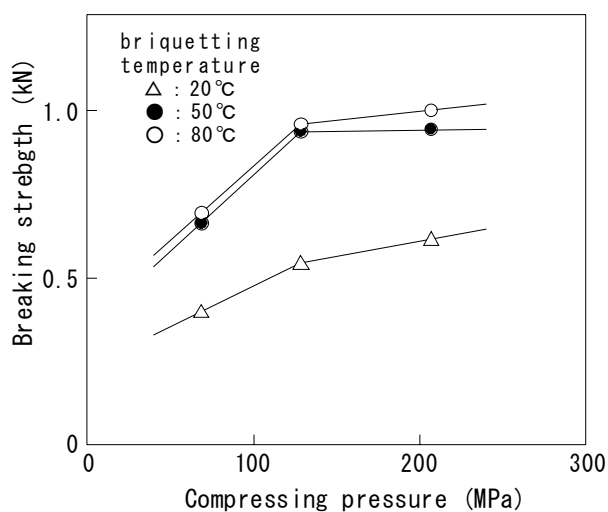


Fig. 3.2.6. Effect of compressing pressure

### 3.2.4 エネルギー効率

中国での CCB 利用が経済性、周辺環境にもたらす効果は以下のように推定される。CCB には 20% のバイオマスを配合しているため石炭の消費量は 20%削減され、燃料の燃焼性の改善により、既存の石炭焚きボイラーよりも熱効率が 25%改善される。年間 100 万トンの CCB が消費されるなら石炭消費量は年間 40 万トン、煤煙排出量は年間 5,000 トン、二酸化硫黄の排出量は年間 15,000 トン削減されると推算される

### 参考文献

Johanson, J. R. ;The Use of Laboratory Tests In The Design and Operation of Briquetting Presses, Proceedings, IBA, 13, 135(1975)

Maruyama, Coal-wood formed fuel Binder effect of woody materials, Hokkaido Industrial Research Institute, No.279, 183(1980)

Maruyama, Briquetting characteristics of coal-wood composite fuel, Report of Hokkaido Industrial Research Institute, No.282,195(1984)

Groving, D. A. I.;Thermal Softening of Lignin, Hemicellulose and Ceullulose, Pulp Paper Mag., T-517～527(1963)

The Japan Institute of Energy, Biomass Handbook, p224-228(2002)

## 3.3 パーティクルボード

### 3.3.1 パーティクルボードとは

木質複合ボードには多くの名称と定義がある。パーティクルボードは、リグノセルロース材料(大抵は木材) 削片 (繊維でない) から製造される板製品の総称であり、合成樹脂やその他の適正なバインダーを加え熱圧成型プロセスにより、削片を接着させている (ASTM D 1554)。性能向上のために他の材料を混ぜることがある。パーティクルボードの分類は国により異なる。例えば、日本工業規格 (JISA 5908) は、パーティクルボードの種類を 1) 表裏面の状態、2) 曲げ強さ、3) 接着剤、4) ホルムアルデヒド放散量および 5) 難燃性によって区分する。本章でのパーティクルボードはファイバーボード (繊維板) を含まない。

ファイバー、パーティクル、ウエファー等木材小片を接着成型した製品は、木工残廃材、未利用材、低質材、農業廃棄物から製造可能である。さらに、樹皮、林地残材、工業廃材を製品の中に混入することができる。複合ボードの製造により、未利用天然資源を有用な材料へ転換することができる。

### 3.3.2 パーティクルボードの生産と消費

2006年4月現在、稼働中のパーティクルボード工場は16工場である。同年10月の国内パーティクルボード生産量は1,234千 $m^3$ 、輸入量は391千 $m^3$ である。用途別では、家具建具が60%、建築が37%である。建築廃材のリサイクル法により、2006年には再資源化率の目標が60%となったため、木質ボード (パーティクルボード、繊維板) 原材料の61%が建築廃材由来となった。

### 3.3.3 パーティクルボードの製造

Fig. 3.3.1 にパーティクルボードの製造過程を示す。

重要な一次処理工程は廃材からボードの原材料となるエレメントをつくることであり、図では「particle formation process」の部分を示す。建築廃材と木材産業廃材は別ラインで流され、いくつかの工程を経て削片化と異物除去を行う。まず、原材料の廃材はせん断式破砕機で一次粗破砕され、磁選され金属異物除去された後、ハンマクラッシャーで二次破砕される。その後スクリーンで分級、気流により選別して砂とコンクリートなどの異物を除きサーチコイルで非金属を除去、最終的に原材料となるパーティクルが完成する。二次処理工程はボードの製造である。一次工程で製造した原料を、リングフレイカーを通し、均一な厚さのパーティクルを製造し、その後乾燥、分級を行う。

工場の処理工程で出るダストが乾燥炉の熱源に用いられることが多い。接着剤をブレンドするが、三層ボードでは表層と芯層で別々のブレンダーを用いる。接着剤塗布後、成型され、熱圧され、養生後に研磨される。パンクを含む製品が非破壊検査によって除去されることもある。研磨後、検査され出荷される。

工場の処理工程で出るダストが乾燥炉の熱源に用いられることが多い。接着剤をブレンドするが、三層ボードでは表層と芯層で別々のブレンダーを用いる。接着剤塗布後、成型され、熱圧され、養生後に研磨される。パンクを含む製品が非破壊検査によって除去されることもある。研磨後、検査され出荷される。

### 3.3.4 マテリアルリサイクルのためのパーティクルボード利用

パーティクルボードの製造は木質材料のマテリアルリサイクルの重要な工程であり、この工程がないと木質廃棄物として埋め立てられるか焼却されるかになる。リサイクル材料に他のエレメントを混ぜて高機能化することができる。例えば、芯層に繊維が短くなったリサイクル材料、表層に長繊維のエレメントを用いて強度低下を防ぐことができる。パーティクルボードの製造は成熟産業で

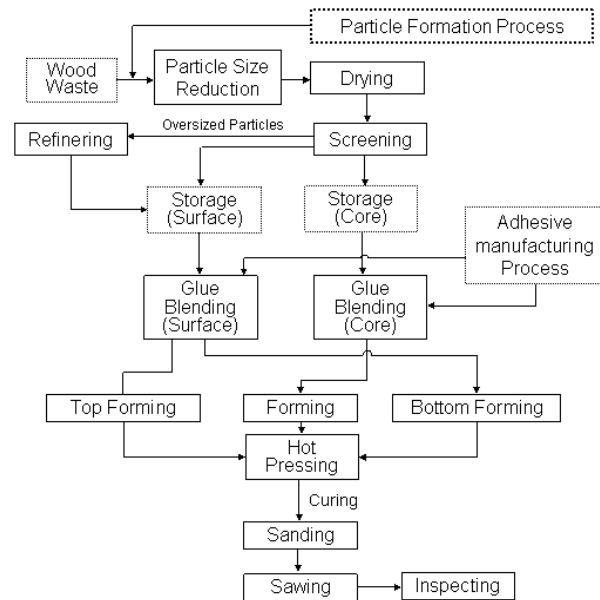


Fig. 3.3.1. Particleboard Manufacturing Process. Courtesy of Saito, Y., Tokyo Board Industries, Co., Ltd.

あるが、各工程の能率を上げる必要がある。原油価格は上昇し続け、輸送、接着剤、工場の稼働コストは上昇する中、原料木質廃材チップの入荷にあたっては他産業と競争しなければならない。木質バイオマスのエネルギー利用を促進する政策のため、状況はさらに悪くなっている。農林水産省は将来を見据えたバイオマス・ニッポン政策を提示している。1) 国民の啓蒙、2) バイオマス由来輸送燃料の導入、3) バイオマスタウン構築、4) 木質バイオマスをふくむバイオマス利活用技術の開発、5) バイオマス製品エネルギーの利用増進、6) アジア諸国等海外との連携。地域廃材を利用する大抵のパーティクルボード産業は、廃材利用を促進させマテリアルリサイクルを促進させるとともに、製造原料とならない木質廃棄物のエネルギーリサイクルにも貢献している。

### 3.3.5 木質パネルを含む木質バイオマスの統計

木質バイオマスとは樹皮、鋸屑、製材・単板・合板・エンジニアードウッド工場端材をいう。2006年の統計資料では、木質バイオマス総量は10,782千m<sup>3</sup>、10,197千m<sup>3</sup>（95%）はバイオマス源として利用され、残りは廃棄されている。木質バイオマスの種類は、1) 4408千m<sup>3</sup>（43%）が木材チップ、2) 2330千m<sup>3</sup>（23%）エネルギー利用、3) 2256千m<sup>3</sup>（22%）畜産敷料、4) 580千m<sup>3</sup>（5.7%）堆肥土壌改良剤、5) 258千m<sup>3</sup>（2.5%）木質ボード製造、である。エネルギー利用される2330千m<sup>3</sup>（23%）は、1) 木材乾燥施設熱源用（1550千m<sup>3</sup>）、2) 発電施設用（595千m<sup>3</sup>）、3) ペレット等製造用（46千m<sup>3</sup>）である。

### 3.3.6 アジアにおける実用化技術

パナソニックマレーシアは木材より早く成長する非木質系素材、ケナフに着目し、ケナフボード製造のために、環境に優しいシステムを開発した。公害を減らし、豊かな珊瑚礁を保護するエコシステムとなっている。ケナフボード製造技術自体は、中国のケナフを用いて京都大学との共同研究によって開発され、2005年、ケナフボードに見合う品質のケナフの現地栽培に成功した。ダストとして回収される30%のケナフはバイオマス発電源に利用され、焼却灰は肥料となる。

<http://panasonic.co.jp/ism/kenaf/index.html>

### 参考文献

American Society for Testing Materials (ASTM) Standard. D 1554 Standard Terminology Relating to Wood-Base Fiber and Particle Panel Materials. (2001)

Japanese Industrial Standard (JIS) A 5908. Particleboards. (2003)

- “Field survey on use of woody biomass,” Statistic Department, Minister of Agriculture, Forestry and Fishery. (2006)
- Statistics of Ceramics and Construction Materials, Ministry of Trade and Industry, ISBN:9784903259192. (2006)
- Thomas M. Maloney, Modern Particleboard. ISBN 0-87930-063-9. Published by Miller Freeman Publications Inc. (1977)
- Walter T, Kartal S.N, Hang W.J, Umemura S, Kawai S. Strength, decay and termite resistance of oriented kenaf fiberboard. *J Wood Science*, **53**(6) 481-486 (2007)
- S. Kawai, K. Ohnishi, Y. Okudaira and M. Zhang. Manufacture of oriented fiberboard from kenaf bast fibers and its application to the composite panels. The 2000 International Kanaf Symposium, p.144-148, Oct. 13-14, Hiroshima (2000)
- K. Ohnishi, Y. Okudaira, M. Zhang, and S. Kawai. Manufacturing and properties of oriented medium density fiberboard from non-wood lignocellulosic fibers I. *Mokuzai Gakkaishi*, **46** (2) 114-123 (2000) (in Japanese)
- S. Suzuki. The state of the arts on current timber structures. V: The state of the arts on reuse and recycle of wooden structures. *Journals of the Society of Materials Science, Japan*, **53** (4) 465-470 (2004) (in Japanese)