

オイルパーム廃樹幹の利用

——マレーシアにおける研究の現状——

松田敏誉*・富村洋一**

南国の海岸線に丈高く青空へ幹を伸ばす椰子の樹影は誰でもが想像する風景であるが、熱帯降雨林地域の海岸、内陸部を問わず主に平坦地に生えるもう一つの椰子、オイルパームがずんぐりした幹を連ねて植栽されている光景は、これを見た人の脳裏に鮮やかに残っていることと思う。

オイルパーム (*Elaeis guineensis*) は西アフリカ原産のヤシ科の単子葉植物で、本来原産地ではココヤシと同様に果実から油を採取するために利用されてきた。アジアでは約 150 年前インドネシアに初めて鑑賞用植物として導入されたが、1920 年代に入ってから徐々に油脂植物としての価値が認められ、また熱帯降雨林地帯の気候条件が適しているためインドネシア、マレーシアで植え付け面積がふえていった。とりわけマレーシアでは、1960 年代にはあって油脂生産性が極めて高いこの植物の特徴があらためて認識され、さらに生ゴム市況の低迷などの社会経済状況から農業多様化政策が進められた結果、その植え付け面積は急激に拡大の道を歩んだ。現在植え付け面積 180 万 ha (森林面積の約 10%)、パーム油の年生産量 655 万トンで世界 1 位 (シェア 61%)、石油を除くこの国の第 1 次産品としては生ゴムを越えて木材と肩をならべる重要な産業となっている。

永年作物であるオイルパームは赤橙色の小さな果実を 1,000 個以上つけた果房を植え付け後 4、5 年目から通年で 5~7 房実らせ、その重量の 20% がパーム油となる。オイルパームは樹高が大きくなりすぎると果房の収穫作業の能率が低くなるため、植え付け後 25 年から 30 年の間に伐採し、新しい苗木に植え替えなければならない。しかしこの更新の際に発生する廃樹幹材の利用の道が開けていないのである。廃樹幹は一旦林内に放置されると多量に含有する水分、

MATSUDA, Toshiyo & TOMIMURA, Yoichi : Recent Development in Research on the Utilization of Oil Palm Trunks in Malaysia

* 元農林水産省森林総合研究所企画調整部 ** 森林総合研究所木材化工部

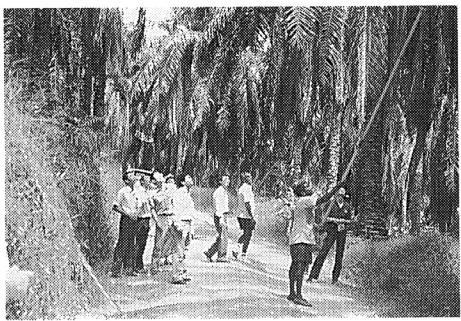


写真-1 パーム園内風景

マレーシア セランゴール州 Batang Berjuntai, Socfin Palm Oil State.

澱粉、糖類のため急速に腐朽し、病虫害の温床となるため焼却しなければならず、これに経費がかかる。このことは、ほぼ同年数で更新されているパラゴムの廃木が最近では家具、集成材、ボード原料等に利用されている状況と全く異なる。1990年代に入り、更新期を迎える面積の急増がこの問題の重要さと緊急性を加えている。現在マレーシアでは真剣にオイルパーム幹材の利用問題に取り組み、1980

年代に入ってドイツ、日本、カナダなどと研究協力も進めている。ここではその成果を主に紹介し、この問題を考えてみたい。

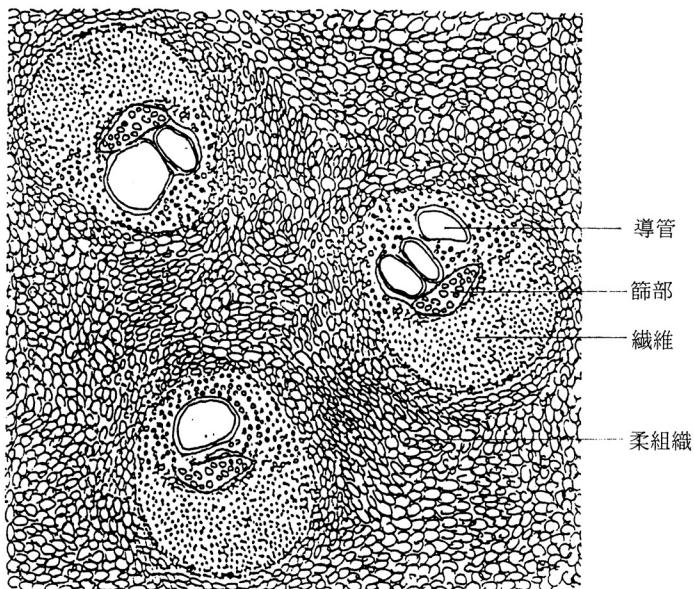


図-1 オイルパームを構成する維管束と柔組織のスケッチ
柔組織に囲まれている3個の維管束

組織構造と材質の特徴

オイルパーム幹材の性質を理解するための基礎となる組織構造については、針葉樹や広葉樹が節部（樹皮）、形成層、木部（材）という単一の維管束系で構成されているのと根本的に異なり、單子葉植物であるため、導管、節部、纖維からなる小維管束が幹中に散在し、

その間を柔組織が埋めるという構造をもっている（図-1）。この2要素の密度により幹材の性質が支配される。図-2の幹材断面図に示すように外側から樹皮部、外周部および中央部の3つに分けて見ると、幹断面の約80%を占める中央部は維管束の分布が疎で（30～40個/cm²）、薄い壁の柔組織によって囲ま

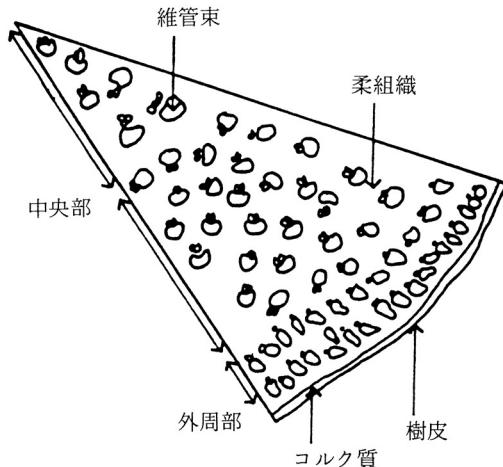


図-2⁶⁾ 樹幹断面の概観図

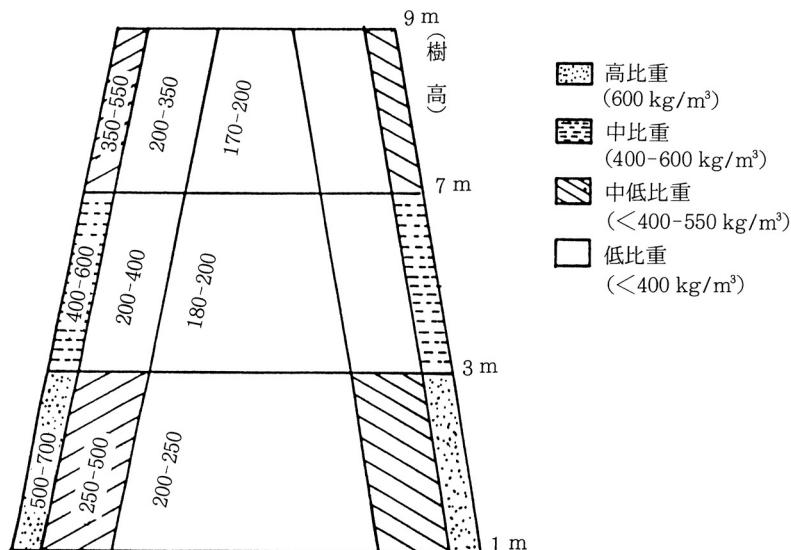


図-3 樹幹部位による比重変動

表-1 他のヤシおよび数種の木材と比較したオイルパーム幹材の強度

樹種	全乾密度 (oven-dry) kg/m ³	曲げ ヤング率 (MPa)	曲げ強さ (MPa)	平行圧縮 強さ (MPa)	硬度 (N)
Oil palm (30 yrs old)	220-550	800- 8,000	8- 45	5-25	350-2,450
Coconut wood (60 yrs old)	250-850	3,100-11,400	26-105	19-49	520-4,400
Date palm	410	1,719- 2,745	11- 23	6-10	2,000
Norway spruce	300-640	11,000	66	43	2,140
Beech	490-880	16,000	105	53	5,650
Poplar	360-560	8,300	76	36	2,500
Chengal	820	19,600	149	75	9,480
Kapur	690	13,200	73	39	5,560
D.R. Meranti	540	12,700	71	38	3,960
Rubberwood	530	8,800	58	26	4,320

れているので軟質である。一方、外周部は柔組織の層は薄く、維管束の分布が密(70~100/cm²)なため硬質となり、樹体を支持している。樹皮部は1.5~3.5 cmの厚さで、柔組織と不規則な形の纖維束および維管束からなっており、最表面部を除くと纖維質に富んでいる部分といえる。

幹材全体の平均比重は0.37であるが、図-3に示すように幹の外側ほど比重が大きく、また幹の上部ほど比重が小さくなっている。このように樹幹の部位によって比重が著しく異なることが、この材を利用しようとする際の大きな障害となっている。含水率が高いのもオイルパーム材の特徴で、また部位により大きく変動する。外周部の含水率は100~150%であるが、中央部は300%以上になり、樹幹基部から上部へ移行するにしたがい高くなる。維管束を構成している纖維の寸法は部位により多少のちがいがあるが、平均で長さ1.22 mm、幅35.3 μm、膜厚4.5 μmでこれは多くの広葉樹種とほぼ同様の値である。またこの材の特徴としてシリカ含量の高い(2.5%)ことがあげられる。強度的性質について他のヤシ類2種、針葉樹1種、広葉樹6種と比較したのが表-1である。

製材と機械加工性

製材は鋸刃の摩耗が激しく、能率が非常に悪い。これはシリカを多く含むためと考えられる。製材直後の歩留は低く、特に乾燥後の歩留はねじれ、幅反り、

落込みのために悪く、維管束と柔組織の間に発生する割れによりさらに落ちる。幹材外周部から製材した板（厚さ 2.5～5.0 cm）を 4 日間で人工乾燥した場合、10% の板に上に述べた欠点が認められた。乾材利用に不可欠の保存処理としては、一般の針葉樹、広葉樹材にくらべ効果は十分といえないが、防ぼい防虫のため 2% PCP ナトリウム塩と 2% ほう酸の混合液のスプレーにより 3 週間程度の保存効果を示す。

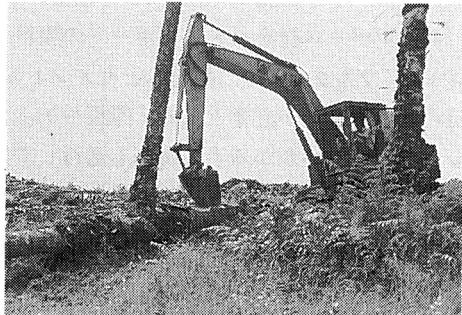


写真-2 伐倒した樹幹を破碎して乾燥をはやめる

オイルパーム材の化学的性質

オイルパーム材は熱帯産広葉樹材と比較するとリグニンやホロセルロース含有量は低く、アルカリや水可溶部が多い。全般的に中心部は熱水抽出物やアルカリ抽出物が他の部分よりも多くみられる。熱水やアルカリの可溶部には炭化物が多く含まれることから、柔組織に富む中心部には多量の澱粉や多糖類が存在することを示している。また樹幹中のリグニン量は先端中央部で少なく、樹幹下部で多いほかはほぼ均一に分布している。伐採したばかりのオイルパーム材は約 10% の遊離の糖と 25% の澱粉を含んでいる。ショ糖、グルコース、フルクトースが主な遊離糖で、なかでもショ糖は最も含有量が多く全樹幹に分布している。これに対してグルコースは樹高とともに増加し、一方、フルクトースは減少する傾向を示す。樹幹の酸加水分解では 48～70% の高収率で糖を生じ、主なものはグルコース（35～48%）、キシロース（11～16%）である。

パネル製品の製造

ボード製造に際して、オイルパーム材の長い維管束のかたまりは切削しにくく、通常のフレーカーを用いたのでは、目詰まりを起こす。したがって、予め 30 mm × 30 mm × 5 mm のチップを調製し、これをハンマーミルで破碎してボード原料とすることを試みた結果、UF 樹脂使用、含脂率内層 8%，表層 10% で、密度 700 kg/m³、曲げ強さ 17～20 MPa、ワックス 1% 添加で、24 時間吸

水試験後、厚さ膨潤率 16% 以下の性質の 3 層パーティクルボードを得ている。

オイルパーム材をセメントボードの原料とするには、この材がショ糖、グルコース、フルクトース、澱粉などセメントの硬化阻害を起こす糖類を含むため、何らかの前処理が必要となる。厚板やチップにして放置するだけでも糖分は減少するが時間がかかる上、腐朽も進行して好ましくない。冷水に 2 日または熱水に 4 時間浸漬することで、これらの糖類を減少させ、セメントボードの強度を向上させることができるが、このような前処理によっても十分な強度を持った製品を得るのは困難なようである。

石膏ボードの製造も検討されている。セメントの場合と異なり、オイルパーム材中の糖分による硬化阻害はあまり問題にならないようである。むしろ石膏の硬化が速すぎるため、普通ではリターダーを添加するところ、オイルパーム材の場合は添加の必要がないという報告がある。例として密度 $1,300 \text{ kg/m}^3$ 、材と石膏の割合 1 対 3.5 で曲げ強さ 9.28 MPa、引張強度 0.78 MPa の実用に耐えるボードが得られたという報告がある。ブロックボードのランバーコアはオイルパーム材の有効な使い方の一つである。単板との接着性も良く、軽いのも利点である。MDFへの利用も検討されたが、強度、耐水性とも他の材に比較してあまり良い結果は得られていない。オイルパーム材をロータリーレースで切削して单板を製造する試験が行われたが壊れ易く扱いにくい。また乾燥による収縮も問題であった。オイルパーム材を防腐処理してラッカーやウレタン樹脂で塗装し、サイドテーブルや電話台のような小家具に用いる試みもなされており、樹幹基部から得た材は独特の縞模様が現れ美しい。

紙パルプへの利用

オイルパーム樹幹を紙パルプの原料として用いるには予め柔組織を取り除く必要がある。オイルパーム材はリグニン含量やアルベン抽出量が低いためパルプ化剤が少なくて済む。この点、低比重の広葉樹が薬剤消費が大きいのと対照的である。ただ得られた紙は白色度が劣り、またパルプ収率が低いこと柔組織を除去するためにコストがかかることが問題である。前処理としてチップ化の後リファイナーで処理し、水洗することで柔組織を取り除くことができる。アントラキノンを添加したクラフト蒸解やソーダ蒸解も行われているが、得られた紙は強度や白色度が劣るようである。オイルパームの紙への利用では、葉柄を原料とする一連の研究がなされており、この方が樹幹よりも紙パルプの原料としては優れていると思われる。

粗飼料化

オイルパーム樹幹中の柔組織は炭水化物に富むため粗飼料への利用が考えられるが、その際短く切断された維管束は固くて先の尖った形状のため、これを除くかまたは何らかの前処理をする必要がある。前処理は次の4種類に分けられる。

- 1) 乾燥処理：樹幹をフレーク状に破碎し、日光に3~4日さらして予備乾燥した後ジェットドライヤーで乾燥する。
- 2) 蒸煮処理：生材を水蒸気圧 12.5 kg/cm^2 で5分間処理する。
- 3) アルカリ処理：生材フレーク 100 kg に 11.6% の水酸化ナトリウム 14.7 kg を混合する。
- 4) サイレージ処理：生材をドラム缶中に密閉し、室温で嫌気的条件に保つ。

未処理のオイルパーム材でも稲藁よりも高い消化率を示すが、これらの処理により消化率がさらに向上する。すなわち蒸煮処理、アルカリ処理、サイレージ処理で乾物の消化率はそれぞれ 54.6, 54.2, 50.5% を示した。長期にわたる牛の飼育試験ではオイルパーム材のサイレージ処理をしたもののが上記の4つの処理のうち粗飼料としてもっとも優れていることが実証された。

オイルパーム材の改良

アンモニア処理による圧密化が検討されている。この処理では水分の存在下方が効果があり、最初の含水率が高いほど圧密化率も高いという報告がある。オイルパーム材の場合、維管束部分が低密度の柔組織部分に押し込まれるかたちで圧密化され、実際につぶれるのは柔組織部分である。密度増加率 150% までこの方法で可能で、機械的性質を向上させることができる。材の膨潤収縮も低密度の方がおこり易いため、圧密化によって寸度安定性が改善されると考えられる。なおアンモニア処理では腐朽菌に対する抵抗性は得られないが、圧密化では抗菌性はかなり改善されることが報告されている。

ポリマーの含浸

オイルパーム材の寸度安定性改善を目的としたポリマー含浸処理の報告がある。オイルパーム材をメチルメタクリレート、グリシディルメタクリレート、2,4-トルエンジイソシアネート、スチレン-アクリロニトリル (60:40), ポリエチレングリコール 200, 1000, 1500 で処理して寸度安定性を調べた結果、

最も効果のあったのはポリエチレングリコール 200 であった。またポリマー含浸処理は腐朽菌に対する抵抗性を著しく改善したが、ポリエチレングリコール処理では水溶性ポリマーが流失するせいかあまり効果が得られていない。

爆碎処理

オイルパーム材の爆碎処理は酵素糖化率を上げるための処理条件として、樹幹の中間部では 20 kg/cm^2 , 4 分, 樹幹基部では 25 kg/cm^2 , 3 分で行われた。爆碎処理材の水溶性画分には 20~30% 収率でヘミセルロースが含まれ、これを酸加水分解することにより、キシロースとグルコースがそれぞれ 83%, 69 % の収率で得られる。キシロースはまたキシリトールに変換して利用可能である。

燃料としての利用

オイルパーム樹幹、果実空房、果実ファイバーをプレスしたものを 45%, 45%, 10% の割合でペレット化した燃料は 17.8 MJ/kg の熱量を持ち、他の熱帯産材とほぼ同程度であるがイオウ含有量が低いため大気汚染の問題は少ないといえる。オイルパーム樹幹の炭化についてはドライベースで 20~30% の含水率の材で行われたが、炭化時間 18~24 時間で転換効率が 6% と非常に低い結果が得られている。これはキルン内への原料のパッキング密度が十分でないためにエアースペースが大量にできてしまい、発熱反応の維持が困難となり、余分な空気をキルン内に流すことになったため原料が焼失したことが原因と考えられる。また原料自体が低密度のため、炭化の制御が難しいことも指摘されている。一方、オイルパーム材はかなりの量の糖分や澱粉を含むため、これら糖類を原料とするか、または爆碎等で材を処理したものを原料としてアルコール発酵を行い、液体燃料に変換することも可能である。

問題解決の方向を探る

上述のようにオイルパーム材利用のために多くの努力がなされてきたが、未だ実用化の域に達していない。今後もこれらの蓄積を通じて突破口が切り開かれるることを期待したい。

一方、1991 年には 590 万 m^3 (200 万 t), '95 年には $1,000 \text{ 万 m}^3$ (350 万 t) が見込まれている廃幹材の引取り手を見つけなければならない現実がある。'91 年 3 月に開催されたオイルパーム幹材の利用に関するセミナーで、これまでの

研究のうち最も実用化が期待される道は飼料化とボード類にあると指摘された。

オイルパーム幹材をボード原料に利用するために試みられた努力は、他の利用例えば、化学処理による圧密化とは異なり、既存技術の適用が主であり、これに期待がかけられたことはオイルパーム幹材の持つ質的、量的特徴を考慮して既存技術を主体とし、その一部変更等によるボード製造法を適用することが合理的であると示唆しているように思われる。

ここでは原料の条件を考慮したオイルパーム幹材のやや特殊な利用法を考えてみたい。

植栽園の廃材処理のため伐採幹材をすみやかに加工工場へ搬出することが望ましいが、玉切りにした幹材をそのまま運搬することは幹材実質の約3倍の水を運ぶに等しく不利である。前述のように幹材中央部は高水分、低比重であるため、木材代替材料への転換は相当に困難であるので、樹幹のこの部分を縦割り、くり抜き等により分離し、変換加工に有利な幹材外周部だけを搬出し加工処理工程にむける方式を検討する。分離された中央部はそのまま園内の土に帰すか、飼料化、ボード原料として利用する場合は圧縮脱水後、ばら積みにより運搬に向ける。幹材を内外二つの部分に分離して取り扱うこの方法は、この原料の問題点である運搬、乾燥および柔組織の処理に有効な働きをする。ボード製造計画はこの原料の特徴である高含水率を利用する半乾式熱圧法により、表面性の良いパーティクルボード（片面網目）をつくることにある。製品はハードボードタイプ（厚さ3~4 mm, 比重0.8）を主とし中質ボードタイプ（厚さ6~7 mm, 比重0.6~0.7）およびインシュレーションボードタイプ（厚さ10~12 mm, 比重0.5）まで柔組織の混合比の調整により区分される。含有量の多い澱粉を利用して接着効果を引き出す試みも検討する。製品の性能は原料の性能に応じて、JISの中、下位に求め、生産規模は通常にみられる大型とせず、1万t/年程度での採算ベースを求める。

樹高10m余、葉の広がりも10mにおよび、林内は下草で覆われた広大なオイルパーム植栽園が森林と同様に緑環境の提供者に他ならない。同時に熱帶降雨林における森林伐採を少しでも減らす方向への潜在価値を持つ資源の提供者であることを思えば、植え付け面積拡大の過程でその土地を森林に求めた経緯はともかく、オイルパーム植栽園の健全な発展のために林業技術の側から果たすべき責務は大きいように思われる。

最後に、この報告を書くにあたってマレーシア森林研究所K.C. KHOOおよびL.T. CHEW両氏には文献の入手等ご支援を頂いた。ここに厚くお礼申しあ

げる次第である。文献としてはこのほかにもセミナー、シンポジウムなどの報告書を参考にしたが、ここでは割愛した。

- [文 献] 1) CHEW, L.T. & C.L. ONG (1985). Particleboard manufacture from oil palm trunk. PORIM Bull. No. 11 : 99-108. 2) CHEW, L.T. (1987). Particleboard manufacture from oil palm stems : a pilot scale study. FRIM Occasional Paper No. 4. 3) CHEW, L.T. *et al.* (1991). Oil palm stem utilization : panel products. Res. Pamph. No. 170 : 35-50. 4) HALIMAH-TON, H.M. *et al.* (1990). Preliminary studies on the steam explosion pretreatment of the oil palm stem. Pertanika 13 (2) : 165-70. 5) HALIMAH-TON, H.M. *et al.* (1990). Carbohydrates in the oil palm stem and their potential use. J. Trop. For. Sci. 2 (3) : 220-226. 6) HOI, W.K. *et al.* (1991). Oil palm stem utilization : solid and liquid fuels. Res. Pamph. No. 107 : 87-97. 7) KAMISHIMA, H. *et al.* (1988). Industrial utilization of oil palm by-products III. Thermomechanical pulping of oil palm fronds. Cell. Chem. Techn. 22 : 351-361. 8) KHOO, K.C. & T.W. LEE (1985). Sulphate pulping of the oil palm trunk. PORIM Bull. No. 11 : 57-65. 9) KILLMANN, W. & LIM, S.C. (1985). Anatomy and properties of oil palm stem. PORIM Bull. No. 11 : 18-42. 10) KILLMANN, W. & M.P. KOH (1988). Oil palm stem densification using ammonia treatment : a preliminary study. J. Trop. For. Sci. 1 (1) : 1-10. 11) Mohd. NOR (1985). Neutralsulphite semichemical pulping of oil palm trunk. PORIM Bull. No. 11 : 79-94. 12) Mohd. NOR *et al.* (1984). Preliminary characterization of oil palm stem as raw material for pulp and paper. Mal. For. 47 (1) : 28-42. 13) Mohd. NOR *et al.* (1989). Properties of sulphate and soda-anthraquinone pulps from oil palm trunk. J. Trop. For. Sci. 2 (1) : 25-31. 14) OSHIO, S. *et al.* (1990). Processing and utilization of oil palm by-products for luminant. Report on the MARDI-TARC collaborative study. 15) Wan Asma IBRAHIM (1989). Densification and stabilization of oil palm stem by treatment with polymers. J. Trop. For. Sci. 2 (1) : 1-7.
-