

温暖化対策クリーン開発メカニズム事業調査

南スマトラ州の産業植林木等バイオマスを利用した
炭化・発電事業の可能性調査

報告書

平成 14 年 2 月

(株) 関西総合環境センター

平成 13 年度 温暖化対策クリーン開発メカニズム事業調査
南スマトラ州の産業植林木等バイオマスを利用した炭化・発電事業の可能性調査

1 章	H13 年度の調査結果の要旨.....	1
2 章	調査の目的、地域、体制および実施工程	
2.1	調査目的.....	6
2.2	調査対象国、地域	6
2.3	調査体制.....	6
2.4	調査実施経過と実施工程..	7
2.5	調査項目.....	7
3 章	事業地の自然環境および社会経済環境	
3.1	スマトラ島の自然・社会経済環境.....	9
3.2	南スマトラ州の自然環境.....	14
3.3	南スマトラ州の社会経済環境.....	15
3.4	事業地および周辺の自然・社会経済環境.....	17
3.5	CO2 排出削減対策の受け入れ環境.....	18
4 章	事業の基本構想	
4.1	ムシ社の植林事業の概要.....	21
4.2	タンジュンエニム社のパルプ事業の概要.....	21
4.3	CDM 事業の基本構想.....	21
4.4	CDM 事業対象の前提条件.....	22
5 章	バイオマス利用事業（炭化、発電）への原料供給量の推定	
5.1	林地の残材量の推定.....	24
5.2	パルプチップ生産工程からの廃材量.....	25
5.3	近隣の農産廃物量の推定.....	26
6 章	インドネシアの炭化事業の実態と市場性	
6.1	概略.....	27
6.2	インドネシアの炭の主産地.....	28
6.3	インドネシアの主な炭化法.....	31
6.4	インドネシアの炭の種類.....	34
6.5	インドネシアの炭の生産量.....	37
6.6	インドネシアでの炭の用途.....	38
6.7	インドネシア国内市場の炭の消費量.....	39
6.8	炭の取引市場と市場の実態.....	41
7 章	本事業での炭化事業の可能性	
7.1	林地残材に適用できる炭化技術.....	44
7.2	林地残材からの製炭量の推定.....	48
7.3	パルプ工場の樹皮、ウッドロスの 炭化技術と製炭量推定.....	50

7.4	パルプ工場のチップダストの炭化技術 と製炭量推定.....	57
7.5	カーボン量と収益性の評価.....	58
8章	インドネシアの電力事情	
8.1	インドネシアの電力概要.....	61
8.2	スマトラ島の電力.....	67
8.3	南スマトラの電力.....	68
9章	本事業でのバイオマス発電事業の可能性	
9.1	リカバリーボイラ.....	72
9.2	パワーボイラ.....	73
9.3	化石燃料の代替エネルギー換算.....	75
10章	植林、農業への炭の適用及び在来樹種による 修復植林の可能性	
10.1	産業植林地への炭の適用試験計画の立案.....	77
10.2	農作物への炭の施用試験計画の立案.....	78
10.3	天然林再生技術.....	80
11章	事業の立案	
11.1	事業内容.....	82
11.2	事業資金計画.....	84
11.3	カウンターパートとの事業実施体制.....	85
12章	事業の効果と評価	
12.1	バイオマス廃物のベースライン.....	86
12.2	対象となる温室効果ガスの吸収源拡大の試算.....	87
12.3	費用対効果（Cost-efficiency）.....	88
12.4	事業の実現可能性（Feasibility）.....	88
12.5	事業の持続可能性（Sustainability）.....	89
12.6	間接影響（リーケージ）.....	91
12.7	モニタリング（Monitoring）の可能性.....	93
12.8	不確実性（Uncertainty）.....	93
12.9	今後の課題.....	95
補足	マレーシア連邦とインドネシア共和国の比較.....	97
補1	CDM に対する対応の相違と 日本への期待の違い.....	97
補2	吸収源 CDM 実施上の自然環境.....	98
補3	吸収源 CDM 実施上の社会経済環境.....	99
補4	パートナーとしての各機関の力量.....	100
参考・引用文献	101
図表	2-1

写真

1 章 H13 年度の調査結果の要旨

1. 調査の目的

大規模産業植林事業において排出される、大量の残廃材を炭化や発電によって有効利用するとともに、在来種フタバガキ樹種による長伐期型の植林を組み入れることで、CO₂の長期固定化や代替エネルギーへの転換を図るバイオマス利用事業に発展させる可能性を調査する。調査対象はインドネシア、南スマトラ州にある産業植林-パルプ生産事業地である。

2. 事業地の自然環境および社会経済環境

スマトラ島は全日本の 1.3 倍の面積を有し、石油・ガス、森林などの天然資源に恵まれたことから開発が進み、人口増が著しく、天然林が劇的に減少してきた。一方、産業植林が最近 10 年で拡大しおよそ 90 万 ha (1998 年)に達した。南スマトラ州は同島で最大面積 110 千 km²をもち、西部に山地帯、中央から東部にかけて低地と湿地が広がる。人口は 7.6 百万で多民族で構成される。

事業地は中央低地部で 193,500ha のアカシア-マンガウム一斉植林が広がり、自然林と二次林がわずかに残る。植林前は大部分が荒廃した草原であったといわれる。植林地の内外には 265 村落、約 130 千人が居住しており、主にゴムノキの樹脂採取やコーヒー栽培で生計をたてている。同事業での地域住民雇用は 20 千人に及ぶ。

インドネシアの政府、民間セクター、研究機関は、地球温暖化に対して関心がまだ低い、CDM に対して否定的ではない。地球温暖化対策を担当しているのは、環境省の環境管理政策担当副大臣であるが、組織的な動きにはなく、他省との横断的組織はない。

3. 事業の基本構想

パートナーはムシフタンペルサダ社(植林)とタンジュンエニム社(パルプ生産)で、ともにバリトパシフィックグループ傘下にある。ムシ社は 1999 年から収穫を開始し丸太の年産 2.3 百万 m³を目標とする。タンジュンエニム社はムシ社生産の丸太を使用して、クラフトパルプを年 450 千トン生産し輸出している。

植林木の収穫後の大量残材、およびパルプ生産時の廃材を利用して、CDM に適したゼロエミッション型のバイオマス利用事業(炭化と発電)ならびに森林保全を図る事業を提案する。バウンダリーの地域はムシ社植林コンセッション 290 千 ha とパルプ工場であり、CDM 事業の対象は、大量の植林地の残材とパルプ工場の廃材である。ベースラ

インは、堆積した残廃材が放置されれば分解して全て CO₂ として大気中に排出されること、とする。従って、炭化は CO₂ の排出削減となり、バイオマス発電は化石燃料の代替エネルギー効果にあたる。

4. バイオマス利用事業（炭化、発電）への原料供給量の推定

林地残材はアカシア-マンガウム直径 7cm 未満の小木、および高木の枝であるから、立木調査から推定し年平均 14.06t-dm(乾重)/ha とした。現在、伐採面積は年 10,750ha なので全体は年 151,145t-dm になり、これが調査対象になる。

パルプ工場の廃材は、月平均 14,815bd (絶乾重)、年 177,780bd に達する。その内訳は樹皮(バーク) 41%、ウッドロス(混入した端材) 49%、チップダスト 10%である。全量のうち、現在発電用ボイラで燃焼材料になっているのは 63.5%で、残りの 5,403bd が未利用で埋め立て処理されており、これが調査対象となる。

5. インドネシアの炭化事業の実態と市場性

インドネシアでは燃料源という点では、木炭の経済価値は低い。一方、1980 年以降、金属の精錬や冶金、食品や飲料水製造、医薬品の製造などの諸産業において、燃料源以外の用途に木炭やヤシ殻炭、活性炭の需要が急増してきた。農業においても土壌改良のためにもみ殻くん炭の使用が増え始めている。国内の主生産地はランブン州、リアウ州、北スマトラ州や東ジャワ州などである。輸出量は年約 150 千 t におよぶ。炭化方法には、伏せ焼き、ドーム炉、平炉やブリケット炭製造法が用途に応じて用いられている。

6. 本事業での炭化事業の可能性

林地残材：

残材は年 151,145t-dm 出る。含水率 15%、収炭率 20%、製炭作業を年稼働 11 ヶ月にすると木炭は年 23,551ton 生産できる。炭の炭素成分は平均 80%なので年 18,841ton-C が固定化されることになる。炭化方法としてはドラム缶法、コルゲート缶法や組立レンガ式法などがあるが、地域住民が容易に取り組めるドラム缶式が適している。経費は年 110 百万円であるが、生産された炭を燃料として販売すれば、所要経費をまかなうことができる。

バーク・ウッドロス（パルプ工場）：

樹皮(バーク)および混入した端材の量(ウッドロス)は年 47,196bd である。平炉で炭化すると年 10,813ton (収炭率 25%、年稼働 11 ヶ月)の炭ができる。同法は小さな煉瓦炉でつくり、170 基とすると経費は年約 42 百万円になり高くない。一方、揺動炉で炭化

すると高質炭が得られるが、収炭率 20%で小さく設備費に約 5 億円と大きくなる。

チップダスト（パルプ工場）:

チップダストは年 17,640bd_t であり、活性炭原料に適している。チップダストを素灰にして（収量 27%）、蒸気で賦活化すると月 102ton（収量 25.6%）の活性炭になり、年 1,118ton（年稼働 11 ヶ月）の活性炭ができる。炭化方法としては平炉法が適し、賦活化炉 5 基を必要とし、経費は年約 89 百万円である。活性炭の生産と販売が軌道に乗ればかなりの収益を得ることができるとは思われるが、収炭率が非常に低いので炭素固定という意味では検討を要する。

7. スマトラ南部の電力事情

スマトラ南部の電力需要の平均成長率は、2002 年から 2010 年に 10.8%と予測されており、現状の電力供給では充分とはいえない。特に地方の電化率は、2001 年 10 月で約 74%であり、地方電化は地域開発の大きな課題である。スマトラ島南部の電力系統は小規模な分離系統に分散しているため、独立発電事業の開設の見込みはまだ明るいとはいえない。また、バイオマス発電については潜在資源は大きいですが、設備投資の大きさに比べて発電効率が低いため、この地域ではバイオマス発電所の開設計画はない。

8. バイオマス発電事業の可能性

パルプ工場の電力はタービン発電機（約 70MW）による自家発電である。動力となる蒸気は、リカバリーボイラとパワーボイラから出力している。リカバリーボイラはパルプ生産過程の廃液（黒液）を処理し、液体燃焼させて蒸気を出力する。パワーボイラはバイオマス廃物を固形燃焼させて蒸気を出力する。全蒸気出力の 22.6%がパワーボイラなので、全電力量 35,159MWh のうちバイオマス燃焼による発電を 7,946MWh と推定。その電力量を石炭火力に代替するとおよそ 6,527t-CO₂ に相当した。

9. 植林、農業への炭の適用及び在来樹種による修復植林の可能性

アカシア-マンギウム植林地への施用試験： 木炭の炭資材を検討をする。次に、炭の施用試験を苗畑での育苗時、植栽時および植栽後の 3 段階で行う。炭の施用量も検討を必要とする。 農作物への施用試験： アカシア-マンギウムの木炭や樹皮炭の施用がインドネシアの作物に効果的か、否かを定める試験を行う。炭に肥料成分を組み合わせる施用方法、施肥量の試験を行う。 天然林再生技術： ムシ社はコンセッションの一部を天然林に再生することを望んでおり、インドネシアで研究実績をもつ複数の機関と協力してすすめる可能性がある。弊社は独自の修復植林技術（菌根菌接種技術やエンリッ

チメント植栽技術)を導入して参画が可能である。

10. 事業の立案

C D M事業として取り上げる場合は植林とパルプ生産を含んだ総合的な事業として、ムシ社とタンジュンエニム社を傘下にもつバリトパシフィックグループが主体となって事業を推進することも考えられる。両社は堅実な組織で協力的であり、信頼できるパートナーになりうる。企業の協力関係や資金の拠出方法は、林地残材およびパルプ工場廃材の特色に応じた対応が必要であり、また CO2 削減対策の国際動向を考慮しながら検討する。

11. 事業の効果と評価

ベースラインには2つある。社会経済学的には、当該事業がない場合を想定するならば、現地において、数年以内に自家発電量が著しく増大したり、バイオマス廃物を利用したその他の GHG 排出削減プロジェクトが導入される可能性は低いと考えられる。自然科学的には、木質バイオマスの廃物が野外に放置された場合、最終的に土壌微生物等によって分解され、バイオマスに含まれる炭素のほとんどは大気中に再放出される。

システムバウンダリーからの GHG 排出量については、材料運搬車両や重機の動力源に軽油が消費されるので 428 t-C が毎年大気中に排出される。これらを考慮し炭の炭素成分が平均 80% とすると、炭素収支は本炭化事業によって年間 27,958t-C (102,513t-CO₂) が毎年の排出削減量となる(図 12.1 別添)。また、この年間排出削減量を 20 年のプロジェクト期間全体で累計すると、559,152t-C (2,050,224t-CO₂)となる。GHG 削減の費用対効果については、全プロジェクト期間にすると、本炭化事業による費用対効果は 2,086～2,288 円/t-CO₂ となる。

現在おこなわれている事業の全体が CO₂ 吸収、固定のための C D M事業に当たるか否かは、より具体的な数値を入れた解析結果を待たなければ判断できない点も多い。しかし、炭の利用やバイオマス発電が CO₂ の固定手段として認められるなら、十分新しい事業として実現可能で持続性も高いと思われる。

リーケージについては、天然林の再生や、農業生産性の向上、雇用機会の創出などが考えられ、自然的・社会的にプラスの面が多いと思われるが、マイナス面もいくつか考えられた。また、モニタリングについては、炭化事業では残廃材量の把握、製炭量、用途による炭の流れなどを正確に把握する手法を検討したい。

本来この事業の全体システムは、異質な事業(サブシステム)の複合体となって、は

じめて機能するようになっている。サブシステムには、「植林によってパルプ原料を生産する林業」「木材からパルプ製品を生産する工業」「残廃材を炭化して利用する製炭業」「廃材を利用したバイオマス発電事業」「CO₂ 排出権取引業」「各種の製品を販売する商業」などがある。不確実性については、これらのいずれかひとつが脱落すると全体が成り立たなくなるので、相互のバランスがうまくとれる状態をいかに維持するかである。

今後の課題： 本調査を契機に、弊社とパートナー 2 社は炭化のパイロット試験と施用効果試験を来年度から開始することを具体的に協議している。ただし、CDM 事業としては、持続性が必要なこと、社会的影響が大きいこと、国家間の交渉に依存する点が多いことなど、私企業の自主的行動だけではただちに実施に踏み切れない事柄が多い。そのため本事業地をモデルにして、認証に関わる交渉から実施にいたる過程で生じる問題とその解決方法を整理し、マニュアル化する必要がある。同時に、事業の細部にわたって詳細なデータを収集し、炭素収支、エネルギー収支、経済性の検討など、いわゆる LCA（ライフサイクルアセスメント）を試み、厳正に評価しておく必要を感じる。

2章 調査目的、地域、体制および実施工程

2.1 調査目的

インドネシアで大規模に実施されている産業植林事業において、排出される大量の残廃材を炭化や発電によって有効利用するとともに、在来種フタバガキ樹種による長伐期型の植林を組み入れることで、CO₂の長期固定化や代替エネルギーへの転換を図るバイオマス利用事業に発展させる可能性を調査する。(構想図を図2.1に示した。)

2.2 調査対象国、地域

調査対象国は、インドネシア共和国 南スマトラ州。

調査対象は南スマトラ州にある産業植林-パルプ生産事業である。同州は島嶼国インドネシアの西端にあるスマトラ島の南部に位置する(図2.2)。調査対象地は州都パレンバンから南西に約100 km下り、Perabumuri町とMuaraenim町の間にある。車両で約2時間の距離である。この地域はすでに開発が進み、自然高木林はわずかに残るだけで、ゴム農園や焼き畑跡の二次林、企業のアブラヤシ園が広がっている。また、古くから石油や天然ガスの開発が行われており、各所に多数の石油パイプラインや採掘ステーションが点在する。

本調査地の広大な植林地は、事業の実施前は焼き畑跡の草地またはブッシュであったといわれる。同地域の地形は平地または緩やかな丘陵地で、全体に平坦な場所である。

2.3 調査体制

調査主体：(株)KANSO

カウンターパート：

- ムシ-フタン-ペルサダ社(インドネシア、南スマトラ州/以下、「ムシ社」)
- タンジュンエニム-レストリ紙パルプ社(インドネシア、南スマトラ州/以下、「タンジュンエニム社」)

調査協力機関：

- 林業省ボゴール林産試験場(インドネシア、ボゴール市):炭化調査
- 久慈文化燃料(東京):炭化技術調査
- マトラマツト-チャケラ-チャンギ社(インドネシア ジャカルタ、丸紅の関連会社/

以下「MCC社」): 発電事業調査

2.4 調査実施経過と実施工程

現地への派遣者および期間

- 小川真 (KANSO)(担当- 交渉・全体調整、項目 3, 4, 5, 6):
2001年9月21～23日、2002年1月
- 沖森泰行 (KANSO)(担当- 交渉・全体調整、項目 1, 2, 3, 5, 6):
2001年9月21～23日、10月8～12日、2002年1月
- 大和政秀 (KANSO)(担当- 項目 6): 2001年10月8～13日
- 関則明 (久慈文化燃料)(担当- 項目 4): 2001年10月8～12日、2002年1月

2.5 調査項目

1) 事業地に関わる一般的事項の調査

事業候補地が位置する南スマトラ州の自然および社会経済環境について調査する。
CO2 排出削減対策の受け入れ環境について、中央政府および南スマトラ州政府の具体的な施策、民間を含めた関係箇所の動向を把握する。

2) 事業候補地の自然および社会経済環境

事業候補地は現行の産業植林コンセッション内にある。従って、CDM 事業のバウンダリーを設定し、その前提となるベースラインやリーケージの推定に関わる自然および社会経済環境の基礎的データを収集する。住民参加の可能性について具体的手法を調査する。

3) バイオマス利用事業への原料供給量の推定と評価

事業候補地の産業植林地およびパルプチップ工場から排出される残廃材の量、形態および季節変化について調査し、原料供給の安定性について評価する。

4) 炭化事業の可能性調査

スマトラ島全体および南スマトラ州を対象として、炭化事業とその技術、製品の種類と量、および生産コストと価格、需要動向などを調査し、将来の事業形態を示す。

5) バイオマス発電事業の可能性調査

事業地および周辺地域の電力需要・供給の実態、ならびにインドネシアの売電事情を調査し、発電施設の有用性を評価するとともに、適正な発電施設の計画を提示す

る。

6) 植林、農業への炭の適用および在来種フタバガキによる修復植林の可能性調査

産業植林や農業における炭施用の効果試験をムシペルサダ社と協議し、計画する。

また、産業植林コンセッション内の未利用地を対象に、フタバガキ植林の可能地を推定し、商業植林および住民植林の可能性を調査する。

3章 事業地の自然環境および社会経済環境

3.1 スマトラ島の自然、社会経済環境

3.1.1 スマトラ島の自然環境

1) 地形

スマトラ島は世界で6番目、インドネシアで2番目に大きな島で、西海岸沖の小島群とともにインドネシア共和国の最西端を画する(図3.1-別添)。赤道を挟み北西・南東の方角に広がり、面積は473,606 km²で日本の約1.3倍になる。

大きな特徴は、2000～3000m級のバリサン山脈が西海岸寄りに縦に連続して走っていることである。山脈地帯にはクリンチ山(3,805m)、ムラピ山(2,892m)など50以上の高山、火山が点在し、トバ湖、シンカラック湖、ラナウ湖などの火山湖が散在する。山地帯にはガヨ、アラス、トバ、アガム、ラナウなどの肥沃な高原・盆地が広がり、稲作を中心とする社会が古くから発達してきた。この点が、前節で説明したカリマンタン(ボルネオ島)と大きく異なる。山脈の西側の傾斜は険しく、海岸までの平野の幅も狭い。山脈東側の傾斜は緩やかで、丘陵地帯を下ると140～200kmの幅で沖積低地や湿地が海岸まで続く。

カンパル川、インドラギリ川(リアウ州)、バタン-ハリ川(ジャンビ州)、ムシ川(南スマトラ州)などの大河川が流れ、かつてはマラッカ海峡と山脈地帯を結ぶ重要な交通路を形成した。

2) 土壌

スマトラ島の東端と主要河川の両岸は、沖積性の過湿生成な土壌が優占し、その後背には沖積土壌または灰色-過湿生成土壌が存在する。この灰色-過湿生成土壌は農林業には重要な土壌である。

リアウ州、ジャンビ州、南スマトラ州の東部の湿地部分では、オルガノソルが優占する。オルガノソル土壌は北スマトラ州の南東および南部にも分布する。

スマトラ島低地の大部分は、様々な母材を起源とする赤黄色ポドゾル土壌から成り立つ。山地帯の土壌は非常に複雑であり、この母材の異なる赤黄色ポドゾル土壌がアルトソルやリトソルと結びついている。

3) 植生

地形に応じた潜在植生分布を図 3.2 (別添) に示した。スマトラ島は多様な植生型と豊富な植物種を維持している。この種の多様さは、最も森林の豊かなボルネオ島やニューギニア島に劣らず、またジャワ島、スラウェシ島や他の小さな諸島よりはるかに豊かである。固有植物でみると、半島マレーシア・タイ南部域で 41 属、ボルネオに 59 属、西ジャワに 10 属に対して、スマトラには 17 属で格段に多いわけではないが、ここには世界最大の花を有する特異な植物ラッフレスシア *Rafflesia arnoldi* や、最も高い花をもつ *Amorphophallus titanum* が分布する。

スマトラは標高の違いによる様々な植生型が見られるし、また特異な土壌や地形に適応した植生型も見られる。低地林ではフタバガキ科樹木が優占しており、ha あたり 100m³ の高品質の材積を有する。東海岸部の泥炭湿地では、商業的にも植物学的にも重要な森林を形成する。西沿岸部では砂質土壌上の多様な海岸林が成立するが、東沿岸部では広大なマングローブがみられる。南部では、泥炭湿地林や淡水湿地林が広がる。

森林減少

しかし、そのスマトラ島は古くから開発が進み、特に近年は森林面積が激減し、特に大規模移住開拓村の造成とその農業開発はそれに拍車をかけてきた。図 3.3 (別添) は 1932 年に植物学者ヴァン-ステニスが描いた森林分布図を 1982 年と 1996 年の森林分布図と比較した資料で、その減少の著しいこと明瞭である。山地部の天然林は約 1/3 を失い、低地雨林は 2/3 から 4/5 もの割合を失っている。開発された低地雨林の多くは、肥沃な沖積土壌か火山土壌の所である。

産業植林

一方、産業植林は国家計画でも推奨されて、この 10 年間で急速に伸びてきた。天然林の減少に対して、単一樹種による産業植林の拡大は、新たな植生変化をもたらしている。政府は 1986 から 2000 年までの目標を全国で 4.5 百万 ha として、年 300,000ha、年成長量 20m³/ha を期待している。産業植林計画の大部分はカリマンタン島とスマトラ島が対象となっており、スマトラ島での植林コンセッションは 26 件、約 1.5 百万 ha である (表 3.1、1997 年)。スマトラでは同島中央部のリアウ州が格段に広くて 530 千 ha、続いて南スマトラ州、北スマトラ州。

表3.1 設定された植林コンセッション計画面積（1997年8月）

	件数	面積 (ha)
スマトラ		
アチェ特別区	3	123,400
北スマトラ州	4	286,760
西スマトラ州 **		6,675
リアウ州	7	530,665
ジャンビ州	7	134,495
南スマトラ州	1	296,400
ベンクルー州 **		
ランブン州	4	149,067
合計	26	1,527,462

** データが不確か

スマトラ島での実績を表 3.2 に示した。1998 年現在で 897,000ha に達しているが、目標には至っていないとのことである。主な企業による植林実績は表 3.3 に示した。4 社で 1998 年現在約 447,878ha の実績がある。この産業植林の拡大は、本件事業の展開とも関連するものである。

表3.2 スマトラ島の最近 5 年間の産業植林実績（1994年～98年）

	植栽面積 (ha)						Total
	～1993年	1994/95	1995/96	1996/97	1997/98	1998/99*	
スマトラ							
アチェ特別区 **	19,553					55,340	74,893
北スマトラ州	37,600	10,423	9,226	7,507	7,887	5,196	77,839
西スマトラ州	84	1,762	2,283	2,490	1,151	420	8,190
リアウ州	98,265	39,928	51,606	69,216	52,613	34,199	345,827
ジャンビ州	19,204	12,100	18,038	21,017	19,027	13,260	102,646
南スマトラ州	140,695	31,308	26,372	21,290	6,144	4,994	230,803
ベンクルー州 **	0	450	0	825	300	13	1,588
ランブン州	27,276	7,936	8,176	7,601	1,500	2,744	55,233
小計	342,677	103,907	115,701	129,946	88,622	60,826	897,019

Source: Directorate General of Forest Utilisation, 1999

* 年度途中実績 **データが不明箇所あり

表3.3 スマトラ島の主な企業の産業造林実績

企業名		所有施業面積	植林実施面積			植林総面積
			1995	1996	1997	
Wira Karya Sakusi	ジャンビ州	78,240	4,991	14,247	16,072	50,246

Arara Abadi	リアウ州	229,975	16,344	15,488	18,646	134,773
Riau Asia Pulp&Paper	リアウ州	159,500	9,090	15,041	20,826	69,144
Musi Hutan Perdoda	南スマトラ州	296,400	24,869	14,151	17,100	193,715
		764,115	55,294	58,927	72,644	447,878

4) 気候

スマトラ島の気候の特徴は、やや雨季と乾季の区別はあるものの、年間を通じて十分な雨量がある。ただし地域によってその降雨分布は異なる。西部のバリサン山脈では年6,000mm 以上にも達するが、バリサン山脈とマレーシア半島によって湿潤な季節風が遮られる東部地域では、場所によっては年1,500mm 程度しかないところもある。スマトラの594ヶ所の測候所では、そのうち70%が年降雨量2,500mm 以上を記録している。スマトラの北部地域ではタイと同様に、乾季は北東モンスーンが吹く12月から3月にあり、雨季は北東モンスーンが始まる前と後の移行時期で5月から9月の間にある。北東モンスーンと南西モンスーンの間は4月にも降雨のピークがある。一方、南部スマトラではジャワ島と同様な降雨分布をもち、7月に顕著に乾燥しその前後が乾季となり、雨季は2月にピークとなる。

降雨分布の地域差からみると、スマトラの71%の地域は7ヶ月以上の乾期がある。

3.1.2 スマトラ島の社会経済環境

1) 行政区分

スマトラは1つの特別行政区（アチェ）と7州から成る（表3.4）。

表3.4 スマトラ島各州の面積と行政区数

州 <i>Propinsi</i> Province	州都	面積 (Km ²)	地区 <i>Kabupaten</i> District	区 <i>kecamatan</i> Sub-district	村 <i>Village</i> Desa
アチェ特別区	Banda Aceh	55,390	11	142	5,601
北スマトラ	Medan	71,680	17	252	5,274
西スマトラ	Padang	42,898	14	114	2,180
リアウ	Pekanbaru	94,561	7	91	1,351
ジャンビ	Jambi	53,436	6	60	1,149

南スマトラ	Palembang	109,254	10	110	2,882
ベンクルー	Bengkulu	19,789	4	31	1,159
ランブン	Bandar Lampung	35,385	7	82	1,995
		482,393	76	882	21,591

2) 人口

全島の人口は約 40.5 百万人、インドネシア総人口の 20%にあたる（表 3.5）。平均人口密度は 94 人 / km² であるが、リアウ州の 16 人からランブン州の 197 人まで変化が激しい。一般にバリサン山脈は人間の定住を阻害してきたが、その一部の台地や高地の湖ではいくつもの民族が定着してきた。例えば、バタック族は北部のトバ湖周辺の火山性台地に定住したし、ミナンカバウ族は西部の高原地帯に広がった。

表3.5 スマトラ島の人口動態

	人口 1986	人口 1997	人口密度 (人/Km ²)	年増加率 (%)
アチェ特別区	2,980,738	4,074,900	74	2
北スマトラ	9,444,097	11,754,100	164	2
西スマトラ	3,666,288	4,531,100	106	2
リアウ	2,514,278	1,498,200	16	3
ジャンビ	1,727,717	2,537,500	47	3
南スマトラ	5,410,972	7,610,200	70	3
ベンクルー	935,797	1,521,100	77	4
ランブン	5,986,679	6,981,900	197	2
平均	4,083,321	5,063,625	94	3
合計	32,666,566	40,509,000		

主な民族はミナンカバウ族、アチェ族、バタック族、ランブン族である。ミナンカバウ族はインドネシアでは異色な母系制社会であり、かつイスラム教に忠実で信心深い。商業に長けており、インドネシア各地に行商などで広がっている。アチェ族は強烈な民族意識をもつ厳格なイスラム教徒が多く、歴史的にも独立抵抗運動を先導し、現在もインドネシア中央政府と紛争している。アチェ族の南に接するのがバタック族で、宗教的にはカトリック教徒が多いこともあり、アチェ族とは一線を画している。このバタック族は教育界や軍人へ多く輩出している。

少数民族では、オラン-ラウト族（オラン=人、ラウト=海）は東部沿岸部やリアウ州の東海上の島々に生活する。他にリアウ州のサカイ族、ジャンビ州や南スマトラ州の山地

帯のクブ族、西方のニアス島やメンタワイ諸島のサックダイ族がおり、彼らの多くは現在も狩猟採取を営んでいる。

ジャワ島からの移住者も多い。インドネシアで政策的に進められている大規模移住開拓に参加する人のうち、約 60%はスマトラ島に来ている。

3) 産業構造

図 3.4 (別添) にスマトラの産業構造を示した。スマトラはインドネシア全産業生産のうち約 20%を占めている。特に石油・ガスの生産は全体の 66%を占め、この分野での貢献は突出している。漁業、林業、作物生産でもインドネシアでの生産に占める割合の高さは、カリマンタンとは異なる特色といえる。

3.2 南スマトラ州の自然環境

1) 地理

南スマトラ州は、南緯 1° から 4°、東経 102° から 108° の間に位置している。州面積は、109,254 km² で、スマトラ島の 8 州の中では最も面積が大きい州である。以下との境界を持っている：北にジャンビ州、西にベンクルー州、南にランブン州そして東に Bangka 海峡をのぞむ。

2) 気候

南スマトラは、年間降水量が 2,200mm から 3,000mm の範囲にあるモンスーン気候の影響下にある。ほとんどの降雨は 10 月から 4 月にあり、1 月に最も降水量が多い。しかし、乾季の間にも少量の雨を期待できる。気温は 23.4 から 25.0 の範囲、相対湿度は 78%から 88%の範囲にある。

3) 地形

南スマトラの東部は低地が広がり、Bangka 海峡に面し泥炭湿地帯を形成し、海岸線にはマングローブ地帯がある。この州の西部は、スマトラ島を南北に縦断する Barisan 山脈につながり、海拔 900m から 1,200m まで様々な高さの山地がみられる。高い山には Seminung 山 (1,964m)、Dempo 山 (3,159m)、Patah 山 (1,107m)、および Bungbuk 山 (2,125m) がある。

Bukit Barisan の西方は傾斜地で、一方、東方の斜面はより急勾配となっている。山の裾野部にある溪谷は非常に肥沃で、コーヒー、野菜、果実などの農業栽培に適している。

4) 土壌

南スマトラには、以下の土壌タイプがある（インドネシア土壌農業気候研究センターの土壌分類による）：

Organosol：東部沿岸沿い、氾濫原地域。

Litosol：Bukit Barisan 高地にある Ranau 湖の端地層。

沖積土：Lematang 川、Komering 川、Musi 川沿い、Bukit Barisan 斜面。

Grey Hidromorf：Musi Rawas と Muara Enim の地域。

Klei 腐植土：organoso 参照。

Regosol：Ranau 湖東部付近および近隣山のクレーター付近

Andosol：海拔 100m より高い火山地域のいくつか。

Rendzina：Baturaja 地域付近。

Latosol：顕著な乾季がない地域。

Lateritik：Martapura 平野。

Podzolik：州の平野。

5) 水系

南スマトラ州には多くの川があるが、大きな河川は Musi 川と Lematang 川であり、この河川には大型船が航行できる。大部分の河川（Mesuji 川、Lalan 川、Banyuasin 川を除く）は Barisan 山地を水源とし、東方に下り Bangka 海峡に注いでいる。一方、Ogan 川、Komering 川、Lematang 川、Kelingi 川、Lakitan 川、Rawas 川のすべてが Musi 川に合流している。

3.3 南スマトラ州の社会経済環境

1) 産業、貿易、交通、産業基盤

南スマトラは天然資源に恵まれ、古くから開発が進んできた州の一つである。その産業は、石炭石油の採掘、あるいはセメント、尿素肥料、ゴム栽培、アブラヤシ農園、パルプ・木材関連産業などの天然資源加工業が中心である。

南スマトラの様々な製品は国内市場および海外市場で売買されている。南スマトラから輸出される製品の主なものには、コーヒー、コショウ、魚、小エビなどの農産物、肥料、ゴム製品などの工業品、石炭・石油などの鉱産物がある。

州にはかなりよい交通システムがある。南スマトラは他の州、すなわち南方の Lampung、西方の Bengkulu と西スマトラ、北方の Jambi などと国道によって結ばれている。州内についても、州都を州内すべての地区と結ぶ道路網がある。州には鉄道システムもあり、Palembang から Lampung 州の Bandarlampung まで通じている。南スマトラの製品の多くはこの鉄道を使って運搬もしくは輸出されている。

南スマトラ州の都 Palembang 市は、ジャカルタ、Bandung、Pekanbaru、Pangkalpinang、Batam などの目的地を結ぶ大型航空機（例えば、ボーイング 737-400 型）が着陸できる滑走路を持っている。Palembang 市には、Musu 川によって大型船が入航できる良好な港湾もある。

2) 土地利用、森林分類

南スマトラ州森林局によると、南スマトラの森林は以下のとおり分割できる(表 3.6)。

表 3.6 南スマトラ州の森林利用区分

区分	面積	
	Ha	%
生産林	2,273,933.70	51.68
制限生産林	236,520.00	5.38
転換林	431,445.00	9.80
保全林	697,416.28	15.85
保護林		
- 海岸部	153,084.90	3.48
- 内陸部	607,438.58	13.81
Total	4,399,838.46	100.00

3) 人口、人種、言語

南スマトラの人口は、年 1.63%の人口増加率により 1998 年に 7.61 百万人に達している。1999 年の男女比は 101.75%で、女性より男性の人口の方が多い。年齢構成については、1995 年から 1999 年まで大きな変化は認められない。若年層が人口の多くを占め、24 歳以下が 4.31 百万人、25 歳以上が 3.42 百万人となっている。

南スマトラ州には多くの地域少数民族が存在する。それら部族と少数民族には、‘ Suku Asli ’ Palembang (Palembang の土着民で、そのほとんどが Palembang 市に居住)、Musi/Sekayu 少数民族(Musi/Banyuasin 摂政統治区)、Pegagan、Meranjat、Kayu Agung、Pedamaran、Komerling Ilir などの少数民族 (Ogan Komerling Ilir 摂政統治区)、Ranau、Daya、Kisam、Komerling、Ogan などの少数民族 (Ogan Komerling Ulu 摂政統治区)、

Semendo Darat、Lematang、Enim など少数民族 (Muara Enim 摂政統治区)、Pasemah、Kikim、Lintang、Lematang、Pagaralam、Jarai などの少数民族 (Lahat 摂政統治区)、Rejang、Musi Ulu、Rawas、Anak Dalam (Kubu) などの少数民族 (Musi Rawas 摂政統治区)、などがある。

この地域には様々な地方言語が存在する (地方の方言)。摂政統治区のほとんどすべてが独自の方言を使っているが、互いに大きな違いはない。それらの言語は、Palembang、Melayu、Mentok、Belinyu、Musi、Rawas、Komerling、Dayo、Ogan、Pasemah などである。

3.4 事業地およびその周辺の自然条件と社会経済環境

1) 土地利用と植生

ムシ社の植林コンセッションは、3つの地域に分かれている。ブナカット植林区、スパンジリジ植林区およびマルタプラ植林区である。コンセッション面積は 193,500ha で、HTI 伐採地に含まれる天然林と非森林地域は、それぞれ 80,374ha と 22,526ha となっている。ムシ社の土地利用を表 3.7 に示す。

表 3.7 ムシ社植林コンセッションの土地利用区分

No.	区分	Area Size	
		Ha	%
1.	植林可能地	193,500	65,30
2.	保安林		
	- 河川、堤防、緩衝帯	6,076	2,10
	- 保全地帯	80,374	27,10
3.	植林キャンプとインフラ	9,150	3,10
4.	多目的植林試験区、在来商業種	4,300	1,40
5.		3,000	1,00
Total		296,400	100,00

ムシ社の植林地の大部分は非生産的な *Imperata* 属の草地であり、一部は灌木と択伐林地であった。事業造成時には、草地を農場トラクターを使って 2 回耕した後に、1 回ならず方法で整地された。現在の植生は、大半がアカシア-マンギウム植林木で、他に農民のゴム農園、灌木林がある。

2) 河川

ムシ社の HTI 地域は Musi 川流域に位置している。HTI 地域を流れる主要河川は、Kikim 川、Keruh 川、Semangus 川、Lematang 川、Ogan 川、Komerling 川である。環境影響分析によると、HTI 地域にある河川の流出量は 0.03 から 9.57m³/秒の範囲にある。地下水の深さは平均 3.0m である。

3) 植林コンセッション内外にある村落の状況

村落数と人口

植林地は 5 つの行政区がある。Muara Enim 区、Ogan Kemering Ulu 区、Musi Rawas 区、Lahat 区、および Musi Banyuasin 区に属している。植林地の内外にある村落の数と人口を表 3.8 に示す。

表 3.8 植林コンセッションと近隣の村落、人口

No.	植林区	村落数	世帯数	人口
1	マルタプラ	23	6,811	20,943
2	スバンジリジ	133	7,560	35,146
3	ブナカット	109	17,473	73,673
Total		265	31,844	129,762

村落の生計

植林地内外の人口の 75%以上が、非定住小作農による移動式栽培活動を行っている。したがって、ムシ社の植林地のほとんどは荒廃土壌に存在している。残り 25%の人口はコンセッション外で生活し、多くはコーヒー栽培とゴム園を生業としている。

産業植林開発のため、ムシ社は雇用機会を地域社会と産業部門に提供しているが、現在 20,000 人以上の地元民がそれらの植林事業関連分野で働いている。

3.5 CO₂ 排出削減対策の受け入れ環境

インドネシアでは政府、民間セクター、研究機関での地球温暖化に対する関心はそれほど高くない。インドネシアで地球温暖化対策を担当しているのは、環境省の環境管理政策担当副大臣であり、本件に関しては熱心に取り組んでいるが、組織的な動きにはなっていないようである。林業省では地球温暖化対策、CO₂ 削減対策に関心の高い高官はいるが、これに対応する正式な部署はない。それよりも、1997 年の経済危機以来、拡大

の一途をたどる盗伐の防止と住民対策にかかりきりで、環境問題に取り組むだけの余裕がない模様である。

昨年になって、若い研究者出身の行政官たちの間で話し合いが行われるようになったが、辞任する人が続出し、議論が宙にうっている感じである。とはいえ、数年前に比べれば、国立の研究機関や大学の研究者たちの間では関心がたかまっており、排出権取引による経済的効果が云々されるようになると、現状からみて、急速に関心が高まるものと考えられる。少なくとも、インドネシア政府はCDMの導入に否定的ではなく、行政官によっては歓迎する態度がみられる。よく知られているように、現在のインドネシアは国家的に破産状態にちかく、CDMが少しでも経済的効果に関わることになれば積極的に対応してくると思われるが、そのために政情が安定していないのは事業設立の不安要因にもなる。

インドネシア林業省訪問

面会者： フアタ長官 (A. Fattah、林業省研究開発庁) Ir. Sulistyono A Siran, M Sc. (Head, Division of Technical Cooperation and Information) 中田博政策調整官 (ジャカルタ林業省、日本の林野庁から JICA を通じて出向) スハルディ教授 (ガジャマダ大学教官、前林業省総局長)

- ・ 長官はCDMについては経済面について強い関心もっていた。
- ・ 炭素クレジット獲得について、CDMをどこが審査し承認するかなどのインドネシア国内での体制整備が必要であり、そのためにも、抽象的な議論をするのではなく、すでに行われているA I Jのように、CDMのF/S調査を念頭においたモデルを具体的に示しそれをもとに議論することが必要との意見。
- ・ インドネシア政府では現在先進国からの資金援助によるプロジェクトが多く行われており、政府としても交通整理をし、進捗状況についても情報収集する必要があると考えているようである。
- ・ 研究開発庁はムシ社とすでに別件で共同調査を行っており、またコマツとも共同研究していることから、長官からKANSOに幅広い協力体制をつくってはどうかと提案があった。

インドネシア環境省訪問

面会者：ダニエル副大臣（Prof. Dr. Daniel Murdiyarso、Deputy Minister for Environmental Management Policy）、イナ・ビナリ・プラノト氏（Ina Binari Pranoto、Act. Assistant Deputy for Climate & Atmosphere Division Environmental Management Policy）

- ・炭化によるCO₂の固定（または排出削減）というコンセプトや、炭が微生物の繁殖を促進し土壌改良として効果を期待されているを理解している。

- ・CDMプロジェクトについては、その採用基準（クライテリア）が明確にされなければならない。そのインディケータとしては、持続可能な開発であること、社会的利益があり経済的であること、ベースラインを明確にすること、（先進国側に）補完的であることなどを備えていることが必要と考えている。

- ・試験的にプロジェクトを行い、データの収集をしregulation（規則）をつくるための立証を行っていく。問題はそれによるファイナンシャル、ビジネスへどのように発展させて行くかである。認証プロセスを得ることによりルールづくりを行い、CDMのマニュアル化を図る。

- ・そのためインドネシア国内でも、国内CDM理事会や検証・認証機関をつくることを提案しているが、なかなか理解が得られず容易でない。

- ・CDMにおいては住民及び政府の認識度を高めていく教育をする必要がある。CDM以前にAIJを理解することも大切である。現在、植林に関して5つの教育プログラムを検討している。CDMはよいスキームとはいえない。地域と社会問題が融合することで将来的な収入源にも繋がる。政策面においては、CO₂吸収源はCOP7で話題になった。次回のCOPではEnergy Translation（エネルギー変換）が期待されるであろう。

- ・森林を保全管理するだけでCDMにするには抵抗感がある。それは盗伐や焼き畑の対象になるからであり、その背景には住民の経済的困窮があるからだ。その解消に寄与する植林でなければならない。

- ・政府としては経済的にメリットのないものには消極的であるようである。

4 章 事業の基本構想

4.1 ムシ社の植林事業の概要

ムシ社はバリトパシフィックグループの傘下にある産業植林会社である。バリトグループの子会社 PT. Enim Musi Lestari と PT. Infutani-V (国営林業会社) が共同出資して合弁会社ムシ社を設立した。出資比率はそれぞれ、60%と40%である。

ムシ社の企業目的は次の通りである。

1. パルプ生産に供する年間 500 千 AD t の原材料用丸太を生産する。これは年間 2.3 百万 m³ の丸太生産に匹敵する。
2. 全国土開発と地域開発計画の支援に参画する。
3. 地域社会に雇用機会を提供する。
4. 地域政府と中央政府の税収益を増加させる。

植林コンセッションの取得面積は 296,400ha、そのうち択伐林と非森林地域はそれぞれ 80,374ha と 22,526ha となっている。非森林地域は草原や灌木が大半を占めており、植林はこの非森林地域で実施されて、現在の植林実績は 193,500ha といわれている。1991 年に植林を開始し、1999 年から最初の収穫が始まった。植栽木はすべてアカシア-マンギウム (*Acacia mangium*) である。

植林区は 3 地域に分かれており、ブナカット地区、スバンジリジ地区、マルタプラ地区が州道を挟んで広がっている (図 4.1 別添) 。

4.2 タンジュンエニム社のパルプ事業の概要

タンジュンエニム社は、クラフトパルプを年産 450 千トンを生産するパルプ会社である。同社はバリトグループの子会社 PT. Barito Pacific Timber、および Sumatra Pul Corporation (SPC 社) が共同出資し、1999 年から操業を開始した。SPC 社の株主は丸紅、国際協力銀行、日本製紙である。

4.3 CDM 事業の基本構想

インドネシアで大規模に実施されている産業植林事業において、排出される大量の残廃材を炭化や発電によって有効利用するとともに、在来種フタバガキ樹種による長伐期型の植林を組み入れることで、CO₂ の長期固定化や代替エネルギーへの転換を図るバイ

オマス利用事業に発展させる可能性を調査する。

インドネシアはアジア経済危機の波と 1998 年の政権交代によって政治経済の不安定さを引き起こしたが、それは同時に旧政権時代の政策を時代に即応した新しいものに改革する原動力にもなってきた。環境・森林政策においても、パルプチップ用の単純植林に替わって、在来高木種を用いた長伐期型植林の導入を奨励したり、住民参加型の森林政策を打ち出しているのもその現れである。また、石油・ガスの高騰によって木炭などのバイオマス燃料の開発普及が望まれている。従って、多様な森林事業を受け入れる素地があるといえる。

南スマトラ州では、1980 年代に JICA の協力によって産業植林モデル事業ができて以来、90 年代からパルプチップ用の大規模植林事業が展開されてきた。そのため、各企業では残廃材の処理や、土地問題をめぐる住民とのトラブルを解決するために、新しい発想による追加事業を積極的に導入する気運がみられる。そこで今回、CDM に適したゼロエミッション型のバイオマス利用事業ならびに森林保全を図る事業を提案する。

インドネシアは島嶼国家であり、ジャワ島を除いて島全体を連携する基幹送電線と呼べるものが存在しない。従って、孤立系統の地方電化や村落単位の電化が重要な位置を占めており、僻地で操業する大型産業での独立発電は、地方電化の一翼をになっている。

カウンターパートとなるムシ-ペルサダ社は、インドネシアの大手林業会社バリトパシフィックグループの植林子会社で、29 万 ha の植林コンセッションを有する。そのうち、すでに 19 万 ha に早成樹アカシア-マンギウムを植林しパルプ生産を行っている。さらに、在来種フタバガキ植林の導入や、住民対策としてのアグロフォレストリーの導入など新規事業の展開には意欲的で、今回のバイオマス利用によるカーボンクレジットの獲得には積極的である。また、スマトラ島はカリマンタン（島）に比べて交通の便やインフラ整備が整っており、事業の展開には比較的有利である。

4.4 CDM 事業対象の前提条件

4.4.1 バウンダリー

バウンダリーは、地域としては植林コンセッション取得面積の 296,400ha とそれに隣接するパルプ工場の敷地である。植林コンセッションには、ブナカット地区、スバンジリジ地区、マルタブラ地区の 3 カ所になる（図 4.1 別添）。

活動範囲としては、以下の2点である（図 4.2 別添）。

1) 林地残材の利用： 植林管理（植栽、保育、収穫）は含まず、林木の収穫が終了した以降の残材処理、

2) パルプ工場廃材の利用： パルプ生産に直接関わる加工工程は含まず、ヤードに積まれた廃材処理。

4.4.2 ベースライン

1) 社会経済的条件

本事業地の近郊、または南スマトラ州で、炭化やバイオマス発電による同様な事業の実施や計画があるかどうかを検討する。または、そのような実施や計画があっても、ある条件によって順調に進展していない場合は、その条件の問題点を検討する。

2) 自然条件

本件は植林などによる CO₂ 吸収源活動ではなく、堆積した未処理のバイオマス廃物から発生する CO₂ 排出の削減活動とみなされる。温室効果ガスについてみると、未処理で堆積したパルプ生産の廃材は、放置しておけば微生物活動によって自然に分解し CO₂ を放出していく。本件の計画は、その廃物を炭化によって炭素を炭へ固定するか、または発電用にバイオマスを燃焼させて化石燃料の消費を抑制するものである。従って、何らかの策を講じなければすべて CO₂ を排出していたものを、削減する工程になる。

4.4.3 リークエージ

リークエージは、植林地残材の炭化事業、およびパルプ工場廃材の炭化事業の2つの活動によって生じると考えられる、自然環境および社会経済的環境への予想される影響である。同時に、予測される悪影響の場合はそれに対して講じるべき可能な策を検討する。

5章 バイオマス利用事業（炭化、発電）への原料供給量の推定

5.1 林地の残材量の推定

ムシ社は植林地のアカシア-マンギウム全木を伐採しているが、パルプ加工に利用しているのは、胸高直径 7cm 以上の成木である。胸高直径 7cm 未満の成木は、伐採されてもそのまま林地に放置される。2次林などの自然林樹種の伐採はない。また、伐採された丸太は全て皮付きであり、皮はぎは輸送された後のパルプ工場で行われる。

従って、伐採後に林地に残る主なバイオマスは、以下のものである。

- 胸高直径 7cm 未満の成木の幹、枝、葉
- 胸高直径 7cm 以上の成木の枝、葉

残材は大小の様々なサイズのものが林地に分散しているため、単位面積あたりの量を正確に測定するには、10m x 10m 程度のサンプルコドラートを多数とる必要があり、今回は直接に重量を測定はしなかった。1999年にムシ社が現地大学と共同して測定した例があり、ha あたり 81,96 トン（含水率 32%）という数字を得ていた。これは当時、収穫利用の木は胸高直径 10cm 以上であり、10cm 未満が林地に放置されていたものである。従って、現行の収穫基準と異なる上に、数字が立木蓄積に比べて、相当に大きく過大評価と思われた。

従って、林地の残材量は、以下のようにムシ社が実施した立木測定の結果から、胸高直径 7cm 未満の材積を推定した。

ムシ社が実施した9年生林分、植栽間隔 2m x 3m のA区と植栽間隔 3m x 3m のB区の計2カ所で、胸高直径 7cm 未満の測定を行い材積を推定した。A区では 14.25m³/ha、B区では 17.16m³/ha であり、その平均をとると 15.71m³ となる。

表5.1 立木から推定した林地残材量

	幹		枝**	幹+枝
	材積 m ³	乾重* t-dm		
dbh < 7cm	15.71	7.07	0.93	8.00
dbh ≥ 7cm	204.00	91.80	12.12	

* アカシア-マンギウム気乾重に0.45 (Sining 1988 in Awang & Taylor 1993)

** 幹重に対する枝重の率13.2%を用いた (山田ら(2000)の結果を利用)

アカシア-マンギウム の気乾比重は平均 0.45 (Sining 1988 in Awang & Taylor 1993) であるから、これを材積に乗じた。

$$\text{幹重 } 15.71\text{m}^3/\text{ha} \times 0.45 = 7.07 \text{ t-dm}/\text{ha} \quad (1)$$

幹以外に枝がある。この推定は、山田ら(2000)がパプアニューギニアで実施した7年生アカシア-マンギウム の伐採調査の結果から、幹重に対する枝重の比率が平均 13.2%であったことから、これを幹重に乗じた。Lim ら(1988, 1986)がサラワク州で実施した調査では、この比率は 24.5%~29.1%と高かったが、これは樹齢が4年~5年生と若かったことが影響していると考えられた。過大評価にならないように、ここでは山田らの調査結果を利用した。

$$\text{枝重 } 7.07 \text{ t-dm}/\text{ha} \times 0.132 = 0.93 \text{ t-dm}/\text{ha} \quad (2)$$

(1)と(2)を合わせて、haあたりの残材を 8 t-dm とみなした。

これには胸高直径 7cm 以上の収穫木から落とされた枝が含まれていない。上記の方法と同様にして推定すると、高木 (dbh \geq 7cm) の枝重は 12.12t-dm と推定された。これを合わせると、

$$8.00 \text{ t-dm}/\text{ha} + 12.12\text{t-dm}/\text{ha} = 20.12 \text{ t-dm}/\text{ha}$$

最小値を 8 トン、最大値を 20.12 トンとする。

現事業の伐採面積が年約 10,750ha であることから、

$$8\text{t-dm} \times 10,750\text{ha}/\text{yr} = 86,000\text{t-dm}/\text{ha}.\text{yr}$$

$$20.12\text{t-dm} \times 10,750/\text{yr} = 216,290\text{t-dm}/\text{ha}.\text{yr}$$

年間およそ 86,000 トンが放置されていることになる。

この平均をとると、14.06t-dm/ha、年 151,145t-dm/ha となる。

5.2 パルプチップ生産工程からの廃材量

タンジュンエニム社が推定している月別のバイオマス廃物量を表 5.2 に示した。

工場から出る樹皮は月平均 6,078bdt (絶乾重)、パルプ原料とならなかった材 (ウッドロス) が 7,267bdt、チップダストが 1,470bdt に達しており、合計 14,815bdt の廃材が毎月排出されている。年にすると、177,780bdt という膨大な量である。現在は、バーク、ウッドロスおよびチップダストは混合して排出され、全量の 63.5% が発電用ボイラーの燃料に利用され、残り 36.5% は埋め立てられている。

表5.2 パルプ工場の月別バイオマス廃物量 (bdt=絶乾重量)

	2001年	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	月平均	%
廃材										
a) 樹皮 (バーク)	bdt	5,932	5,796	6,263	6,900	5,775	6,391	5,487	6,078	41.0
b) 剥皮時の付着材 (ウッドロス)	bdt	7,093	6,930	7,489	8,251	6,905	7,642	6,561	7,267	49.1
c) チップダスト	bdt	1,434	1,401	1,514	1,669	1,396	1,545	1,327	1,470	9.9
合計	bdt	14,459	14,127	15,266	16,820	14,077	15,579	13,374	14,815	100.0
d) パワーボイラでの燃料消費	bdt	9,950	8,954	9,866	9,391	8,658	9,190	9,874	9,412	63.5
e) 埋め立て処理	bdt	4,509	5,173	5,400	7,429	5,419	6,389	3,500	5,403	36.5

現在埋め立てられているだけで未利用の廃物は全量の 36.5%とはいえ、その量は月平均 5,403bdt に達し、日平均で 180.1bdt という相当な量に達している。

5.3 近隣の農産廃物量の推定

近隣の小村落での生業は主にゴムノキ園からの樹脂採集である。樹脂が十分に採れるゴムノキの寿命は 25 年であり、ゴムノキ老齢木を伐採改植する機会は少ないため、ゴムノキ園からのバイオマス廃物は非常に少ないといえる。

スバンジリジ植林区(図 4.1 別添)に隣接して政府系のアブラヤシ園が広がっている。しかし、植林地の収穫後の残材と工場でのバイオマス廃物のうち未利用部分が月 5,403 トンもあることから、まずはこの未利用廃物の活用方法を考えることで充分と思われた。したがって、本件では以下の 2 つを未利用バイオマス廃物として利用計画をたてることとする。

- ・ 林地残材 年 151,145 トン (乾重)
- ・ パルプ工場の廃材 年 54,03 トン (絶乾重)

6章 インドネシアの炭化事業の実態と市場性

6.1 概略

インドネシアでは木材やココヤシの殻から作られた炭が家庭用や家内工業用燃料として、まだ残っている。ただし、その消費量は、ガス、電気、石油製品、とくにケロシンなど、他の燃料の使用量が増えるに連れて、減る傾向を示している。わが国では政府の補助と規制によってケロシンの価格が比較的安く保たれているため、ケロシンがもっともひろく、長く利用されてきた。しかし、今でも木炭やヤシ殻炭は焼き肉や菓子作り、鉄の鍛造など、いろんな所でつかわれている。ケロシンやガス、電気などを使ったもの比べると、炭で焼いた焼き肉や菓子は一般に一味違うといわれている。また、冶金や鉄の精錬、鍛造などにも炭が古くから使われており、ケロシンやガス、電気などには置き換えられないともいう。これは炭が単に燃料としてだけでなく、還元剤としても働いているためである。

燃料源という点では、木炭の経済価値はかなり低くみられている。そのわけは、炭、とくに木炭がインドネシア各地の地域社会で生産され、流通消費されており、各家庭や小工場で消費されている量を正確にとらえるのが困難なためである。したがって、インドネシア全体としての炭の生産、流通、消費などに関する正確な数値を求めることは、かなりむずかしい。ただ、便宜的に大、中規模の工場における炭の生産量や消費量をインドネシアの炭輸出入量とかさねて整理してみると、大まかな全容を把握することができると思われる。

インドネシアでは1980年以降、金属の精錬や冶金、食品や飲料、医薬品の製造、食用油や砂糖の精製、脱臭剤や脱色剤の生産などに係わる各種の産業が発達し、それにつれて、木炭やヤシ殻炭、活性炭などの需要が急激に増加した。それはこれらの製造業が製造工程の中で、補助材料として炭を必要としたためである。

さらに、外国からマングローブ炭や特定の樹種から作った炭、ヤシ殻炭などを高値で輸入する動きが見られ、需要が増加している。これらの炭は主として、シンガポール、マレーシア、台湾、日本、ノルウェー、フランス、アラビア半島諸国へ輸出されている。

環境の悪化や炭酸ガスの排出量増加による地球温暖化、農耕地の地力減退、さらには農産廃物や他の産業廃棄物の投棄などが問題化している。その意味からも、炭の利活用は農林業の廃物を利用しながら、炭素乖離や農耕地土壌の改良を具体化できるという点

で意義深いものと思われる。

インドネシアでの農業への炭の利用は、すでに数年前から始まっており、土壌改良のためにもみ殻くん炭を使う例が増え始めている。この方法は環境に好ましくない化学肥料や農薬の使用量を抑え、作物の生産力を高めるためのものとしてとらえられている。もみ殻やヤシ殻のような農業から出てくる廃物を炭化して利用することは、農林業や園芸にとって役立つだけでなく、農産廃物の過剰な焼却から出る炭酸ガスを抑えるのにも有効にはたらくはずである。また、土壌に炭を施用することは植物を育て、光合成と炭水化物の蓄積をはかり、炭素を土壌中に入れて、不活性化するという点でも意味は大きい。

調査範囲は炭の主産地であるスマトラ、ジャワ、カリマンタン、スラウェシとした。

6.2 インドネシアにおける炭の主産地

表6.1 地方、州別の炭の輸出実績（2000）

州	雑木炭		マングローブ炭		ヤシ殻炭	
	輸出量 kg	%	輸出量 kg	%	輸出量 kg	%
スマトラ島	32,374,611	41.73	43,595,662	98.49	20,003,490	74.85
アチェ特別区	247,549	0.32	291,124	0.66	132,156	0.49
北スマトラ	4,401,919	5.67	15,799,503	35.69	9,600,731	35.93
リアウ	1,925,878	2.48	27,423,735	61.95	4,176,274	15.63
ジャンビ	-	-	-	-	242,347	0.91
南スマトラ	7,000	0.01	37,000	0.08	196,000	0.73
ランブン	25,792,265	33.25	44,300	0.10	5,655,982	21.16
ジャワ島	43,078,369	55.53	654,529	1.48	6,289,632	23.54
ジャカルタ特別市	9,894,489	12.75	314,771	0.71	4,818,266	18.03
西ジャワ	-	-	-	-	3,000	0.01
中央ジャワ	940,765	1.21	14,243	0.03	35,705	0.13
東ジャワ	32,243,115	41.56	325,515	0.74	1,432,661	5.36
バリ	47,964	0.06	895	0.00	247,596	0.93
NTT	-	-	-	-	6,500	0.02
カリマンタン島	2,073,109	2.67	14,063	0.03	137,300	0.51
中央カリマンタン	512,032	0.66	-	-	89,300	0.33
南カリマンタン	1,374,452	1.77	-	-	-	-
東カリマンタン	225	0.00	14,063	0.03	-	-
南スラウェシ	186,400	0.24	-	-	48,000	0.18
マルク	-	-	-	-	39,668	0.15
合計	77,574,053	100	44,265,149	100	26,724,186	100

林業省と通商産業省から入手した各州の炭の生産量に関する資料と情報、および統計局の輸出量に関する資料によると(表 6.1)、スマトラが最大の炭生産地で、以下ジャワ、

カリマンタン、スラベシの順になっている。スマトラの中でもマングローブの木炭が主となっているリアウ州の産出量が最も高く、北スマトラについて、南スマトラのランブン州が2位につけている。

表 6.2、6.3、6.4 に地域ごとの炭生産量をしめす。表 6.3 の数値は 1995 年から 2000 年までのリアウ州における生産高である。また、表 6.4 にしめしたものは 1996 年から 2000 年までの北スマトラ、西ジャワ、およびジャンビの各州における生産高、表 6.5 のものは他のいくつかの州のものである。

表6.2 リアウ州の生産量

地方	1995/1996 (kg)	1996/1997 (kg)	1997/1998 (kg)	1998/1999 (kg)	1999/2000 (kg)	2000 (kg)	炭の種類
ドマイ (スマトラ島)	1,240,000	703,000		1,412,730	2,502,060		木炭
ベンガリ (島)	5,526,180	513,000	2,377,000	4,211,860	3,748,420	2,201,410	マングローブ炭
タンジュン ピナン (島)	1,176,600	4,433,930	4,488,180	7,398,300	6,996,580		マングローブ炭
セラット		4,451,000	1,182,720				木炭
パンジャン (島)						686,000 304,599 6,385,588	ブリケット炭 くず炭 マングローブ炭

地方	1995/1996 (m ³)	1996/1997 (m ³)	1997/1998 (m ³)	1998/1999 (m ³)	1999/2000 (m ³)	2000 (m ³)	炭の種類
セラット	11,515,120		9,349,050	7,732,240	13,270,880		炭の原料
パンジャン (島)							

出典： Forestry Services of Riau Province.

表6.3 北スマトラ、西ジャワおよびジャンビ州における炭生産量

州	1996 (kg)	1997 (kg)	1998 (kg)	1999 (kg)	2000 (kg)	2001 (kg)
北スマトラ				195,550	1,933,790	
ジャンビ				3,619,800	1,065,000	1,150,250
西ジャワ	261,000	178,000	545,000			

出典： Forestry Services of Riau, West Java, and North Sumatra Provinces.

表6.4 インドネシア各州の炭生産量

州	量 (kg)	炭の種類
アチェ特別区	1,754,000	木炭

リアウ	1,300,000 88,574	マングローブ炭 ヤシ殻炭
南スマトラ	3,013,000 320,000	木炭 ヤシ殻炭
西ジャワ	1,529,671	木炭、ブリケット炭
ジョグジャカルタ	2,024,000	ブリケット炭
東ジャワ	30,804,000	木炭、粉炭
ランブン	6,888,123	ヤシ殻炭
北スラウェシ	5,686,615	ヤシ殻炭

出典：Ministry of Industry and Trade of Indonesia, 2000

スマトラ地方、とくに東海岸や東側にちらばる群島には手に入りやすい、良く知られた炭の材料であるマングローブ林がある。マングローブの材は良質の炭となるため、炭産業にとって重要な資源となっている。一方、南スマトラのランブン州ではココヤシの殻や雑木が炭の主な材料になっている。

リアウ州にはベンカリ、セラット、パンジャン、ルパットやタンジュンピナンの周辺地域など、東海岸沿いの地方や島に木炭生産の拠点がある。木炭の原料となるマングローブの材は川や小島の間を流れる水路によって工場まで運ばれてくる。この便利な輸送手段は原料を運ぶのに便利だけでなく、産物を運ぶのにも役立っている。また、このような方法によると、経費の支出がすくなく、コストがかからないという利点がある。

ランブン州とその周辺の島では小さな土地所有者や地域共同体が持っているココヤシ園から出てくるヤシガラが炭の原料として使われている。一方、木炭の原料は木炭生産工場の近くにある共有林や産業植林地から出る雑木や間伐材である。ランブン州の炭生産地域は交通の便もよく、港湾施設にも恵まれている。この港湾から炭が輸出されたり、織物工業の補助材料としてジャワへ送られていた。

北スマトラ州はベラワン港という物資の輸出入に適した港湾をもっている。この港は道路、港湾施設、船舶、建造物、コンテナなど輸送に必要な施設を十分そなえている。そのため、北スマトラ州は木炭生産拠点としてはさほど大きくないが、輸出量では他に抜きんできている。このような結果になるのは北スマトラ州の大半、なかでも東アチェが生産した木炭やヤシガラ炭のほぼ全量をベラワン港から輸出しているためである。

ジャワ島では東ジャワ州の炭生産量がもっとも多いが、その材料のほとんどはココヤシの殻と特定の木材である。

カリマンタンの製材工場や木材加工工場から出る木炭の原料の量は東ジャワの量に匹

敵するほどである。これらの製材工場や加工工場はかなりの量の端材やのこ屑をだしており、中でものこ屑が大量にでている。こののこ屑の大部分は粉炭やさらに加工されたブリケット炭、活性炭などとして利用されている。同時に木材やココヤシの殻なども他の地方と同様、炭の原料として使われている。

東ジャワ州には炭を必要とする産業が数多くあるため、炭の需要もたかい。また、東ジャワには十分な港湾施設をそなえたタンジュンペラのような大きな港がある。この港は国内取り引きの窓口としてだけでなく、東ジャワとその周辺地域から集荷される炭を輸出するのにも大いに役立っている。

ジャワ島では東ジャワ州について、西ジャワ州の炭生産高が2位をしめる。西ジャワ州は東ジャワ州と同様のいくつかの利点を持っているが、大きな港がないために、ブリケット炭やその他の産物の大半がジャカルタのタンジュンプリユク港から輸出されている。

6.3 インドネシアの主な炭化法

表 6.5 (別添) に示すように、炭化には数種類の方法がある。ただし、すべての方法がインドネシアで使われているというわけではない。インドネシアでもっとも普及しているのは原始的な伝統的炭化法である。インドネシアで広く行われている方法は大規模から中規模程度の炭化工場に適したドーム型の伝統的な釜である。普及している他の炭化法は平炉、角型炉、ドラム缶等を用いた方法である。また、のこ屑を加圧加熱して成型し、炭化してブリケット炭を作方法も行われている。

6.3.1 原始的な炭化法

原始的な炭化は多くの場合、村人や天然林や植林地の近くに暮らす人々によっておこなわれている。このような場合は規模も小さく、家庭用に炭を作っている程度である。作られた炭は焼き肉用や菓子作りなど、もっぱら調理用か、鍛冶屋やパティックなどの染物屋で使われている。また、生産された炭の一部は大きな規模の工場へ炭を納入している業者や輸出業者に小口売りでさばかれている。

もっとも原始的な伏せ焼き法では、最初地面に穴を掘って、その穴に木材をつめ、上を枝や葉、小枝、草、わらなどで覆い、さらに土をかけて固める。ついで、底から木材に

火をつけ、底にあけた孔から空気を送りこんで燃やす。火が全体にまわるにつれて炭化が進む。煙の色がかわったら孔をふさぎ、空気を遮断する。この方法は伏せ焼き法として古くから知られており、一人か、二人で間に合うので、少量の炭を作るのに適している。温度を下げる時間もふくめて、炭化が完了するのに一週間かかる。

6.3.2 伝統的な炭化法

この炭化法は、いわゆるドーム型炉によるものである。この炉は煉瓦と粘土で作られており、煙突をそなえている。炉の容量はマンガローブ材の場合、1 バッチあたり、40 立方メートルまで詰められるほどの大きさである。長さ約 1 メートルのマンガローブの丸太を縦につめ、焚口から点火する。最初は燃材を燃やすので、点火直後は外熱による燃焼となるが、しばらくすると、燃焼工程は炭化がすすむにつれて、自燃型にかわる。炭化が完了するのに、通常冷却期間も含めて 45 日を要する。この炭化法によると、燃料として、きわめて安定した良質のマンガローブ炭ができる。製品の大半はシンガポール、マレーシア、台湾、日本などへ輸出されている。ただし、伝統的な方法や技術で製炭すると、ときに骨のある炭といわれる未炭化物が出ることがある。この骨のある炭は炭材が炉の底に接している部分にできる。骨のある炭は料理用の燃料として、リアウ州の海岸地方や島、東アチェ、ジャンビ、北スマトラ州など、スマトラの東海岸地方で大量に使われている。

1980 年代を通じて、タイ式のドーム型炉が導入され、炭化効率をあげるための工夫が試みられた。この炉はバッチあたり 90 立方メートルほどの容量を持っている独自のもので、煉瓦と粘土で作られており、鉄材の枠が不要で、煙突をそなえている。ただ、これだけの構造でドームの重量に耐えることができる。炭化に要する日数は 45 日以上と、かなり長い。この形の炉を稼働させるには高額な投資が必要で、伝統的な伏せ焼き法にくらべて、コストが高くなるという欠点がある。そのため、まだ田舎ではほとんどこのタイ式の炉をとりいれていない。

6.3.3 平炉（方形炉）法

この炭化は平炉もしくは方形炉でおこなう方法で、炉は煉瓦とセメントでできている。これらの炉は通常、のこ屑や籾殻、ココヤシの殻など、特殊な原料を炭化するのに使われている。炉の大きさや構造は原料の種類によって少しずつ異なっている。のこ屑を炭

化するための炉では炉底に小さな溝、煙道がひかれている。のこ屑の燃焼と炭化は層状に連続して行われる。すなわち、炉に入れたのこ屑の層が完全に炭化すると、その上に新しいのこ屑をかけて燃焼と炭化をおこない、なんどもこの操作をくりかえして層状に炭化を進める。炭の層が炉の枠の上に達するまで、この操作をくりかえす。

ココヤシの殻の炭化にも平炉か方形炉が使われているが、蓋をする方法と開けたまま炭化する方法がある。蓋をする場合は焚口から点火して、燃焼と炭化を進める。材料が完全に炭化したら、すべての孔を封じ、炎が消えて炭が冷えるまでそのままにしておく。早く終わらせたい場合は炉から炭をかきだし、炎が消えて炭が冷えるまで水をかける。

ココヤシの殻用のもう一つの炭化法はドラム缶を使う方法である。ドラム缶のまわりに縦数列の空気孔を開ける。この孔は缶の底から上にむかって、平行に並べて付けたほうがよい。ドラム缶の上面に大きな孔をあけて、ここに煙突を立てる。缶の底で火をたき、その上に砕いたヤシ殻を入れて炭化する。燃焼は底部から徐々に上にむかって進むので、火の進み具合を缶の側面に開けた孔から見るができる。

火が通りすぎたら、下のほうから順番に孔をふさぎ、上のほうの孔は開けたままにしておく。炎、炭化は底部から上部へとゆっくり進行する。この段階で燃えたヤシ殻が真っ赤にみえたら、その空気孔を粘土か湿らした布でしっかりと蓋をし、その上の孔は開けておく。この工程を炎が缶の上部に達するまでなんども繰り返し、最後にすべての孔を封じる。その後しばらく放置し、炭が冷えるのをまつ。ドラム缶に入れた材料を上から下にむかって、燃焼させ炭化することもできる。ヤシ殻炭の製造は通常、家内労働が中小規模の工場で行われている。ドラム缶を使うヤシガラ炭の炭化にはもうひとつの方法がある。これは炭化が進んでいる間、缶の上部を開けたままにしておくやりかたで、開けたままのドラム缶炉としてよく知られている。この炭化に使われているドラム缶は容量 200L で、ケロシンをいれていたものである。これに一定量のココヤシの砕いた殻をいれて、燃焼させる。十分に燃え上がったら、さらにその上にヤシ殻を加えてもやし、これをなんども繰り返す。この方法は一般にココヤシの集荷場近くにあるヤシ殻炭を生産している村でよく使われている。ヤシ殻炭の製品は地域の家庭用燃料としても使われているが、工場用や輸出用に買い集めている業者にもかなり売られている。また、この方法による製炭は田舎だけでなく、ジャカルタのような大都市の近郊でも盛んである。

籾殻を炭化するための平炉もしくは方形炉は二枚の壁と煙突を付けた上蓋からできている。炉の前面と背面は空気が流れやすく、籾殻がよく燃えるように開けておく。炉の

内部の底に鉄板をしき、その上で朶殻を燃やして、炭化する。最初、炉の前面の朶殻にケロシンなどの着火剤をかけて点火する。燃えている朶殻が完全に炭化するまでかき回しながら燃やし続ける。炭化した部分を背面から掻き出しながら、水をかけて消火する。この方法は手動の半連続式炭化法ともいわれている。平炉もしくは方形炉で生産される朶殻炭は西ジャワだけでも月 20 トンに達している。生産量は 1 日三交代制をとると、さらに増やすことができる。

耐火煉瓦でできた平炉もしくは方形炉はヤシガラから活性炭を生産するのに適している。この方法で活性炭を生産するやり方は伝統的かつ一般的な方法に類似している。この炉では炭が摂氏 1,000 度に熱せられ加熱水蒸気によって活性化され、冷えた後取り出される。

活性炭の生産は主にランブン地方で行われているが、現状では、生産コストがかかりすぎるために多くの工場が操業を停止していた。

6.3.4 ブリケット炭の製造法

インドネシアにはよく知られている 2 種類のブリケット炭製造法がある。一つは平炉で作ったのこ屑炭やヤシ殻炭を砕いて作った粉炭を使う方法である。粉炭やのこ屑炭につなぎとなるタピオカの澱粉と水を加え、混練機、またはプレス機にいれて練り、注文に応じて型をきめ、ブリケット炭を成型加工する。

もう一つの方法は摂氏 300 度に加熱した加圧成型機でのこ屑を棒状にかため、木質のブリケットにし、これを炭化してブリケット炭にするもので、多くは韓国系の企業によって西ジャワのタンゲラン地方で工場規模で生産されている。

6.3.5 流動床炉による炭化

流動床炉に関する調査を西ジャワ、東ジャワ及びランブンの各州で行ったが、ランブロン州とジャワでは、まだほとんど軌道に乗っていないようだった。東ジャワのグレシクにあるインタン プリマ社の活性炭製造工場と西ジャワのボゴール、パルン パンジャンにあるのこ屑を原料にしている工場を見たが、そこでやられている方法はいずれも流動床式の炭化炉といえるほどのものではなかった。

6.4 炭の種類

インドネシア統計局によれば、木炭のなかには木材だけでなく、ココヤシの殻、ナッツの殻、リグニンやセルロースをふくむものなど、あらゆる物を炭化した物体が混じっている。炭化物をこのように一括りにして良いものか、どうか疑問がある。さらに炭とよばれている物の中には少量だが、粉炭、ブリケット炭、活性炭、籾殻くん炭などもある。炭の種類と生産量についてまとめたものを表 6.6 (別添) に示す。また、インドネシアにおける大、中規模の工場で生産される炭の量とその用途については表、6.7(別添) および 6.8 (別添) に示す。

6.4.1 木炭とヤシ殻炭

炭を燃料として消費しているのは個人の家庭やレストラン、小さな商店、小規模工場などである。そこで使われている炭はほとんど木炭か、ヤシ殻炭の加工しないものである。木炭はまだ、焼き肉や菓子作りなど、少量で事足りる家庭用や店の燃料として根強く残っている。それは焼き肉をするのに木炭を使うと、炎や赤外線がでて、肉が均等に焼け、味がよくなるだけでなく、おいしい匂いができるためである。また、菓子作りに木炭を使うと、良い香りがついて味もよくなるという。電熱器やガスの火ではとてもこんなよい味はだせない。木炭がまだ重宝がられているのは値段がやすく、どこでも手にはいるためである。生産側からすれば、原料が入手しやすく、技術もかなり単純でコストがかからないという点も魅力的である。

リアウ州の島で生産され売りに出される木炭や小さな港から輸出用として船積みされる物はとくに包装もしないまま売られている。一方、大きな港から輸出される木炭は厳重に包装され、コンテナにつめて運ばれる。

6.4.2 粉炭

多くの場合、この種の炭は製材工場や木材加工工場からでる残廃材を有効利用するために作られている。原料は比較的やすく、とくに製材工場の近くではやすく入手できる。粉炭の主な用途はブリケット炭の原料用か、活性炭などの原料である。粉炭の売れ先はブリケット炭や活性炭の製造元である。事業規模の粉炭の製造は通常炉床の真ん中に溝のある平炉か方形炉で行われる。粉炭の製造コストは輸送距離が短ければ、一般にかなりやすくなる。

6.4.3 ブリケット炭

ブリケット炭の国内消費量はごくわずかだが、スーパーマーケットや小売店で買うことができる。ブリケット炭にする粉炭は均質で、めがつまっております、きれいに包装されているなど、手間がかかっているために値がかなり高い。ブリケット炭の使いかたは普通の炭とかわらないが、値が高いために、インドネシアではまだ敬遠されている。ただ、なんらかの財政援助を受けている少数の村がブリケット炭の生産に興味を示している。インドネシアで生産されているブリケット炭はほとんど輸出向けのものである。

6.4.4 活性炭

活性炭とは加熱と賦活化によって高い吸着能をもった炭のことである。よく知られているように、活性炭は飲食品の製造やガソリンや油の精製、医薬品や水の純化に広くもちいられている。活性炭は粉炭や木炭、ココヤシのヤシ殻炭、粒状のヤシ殻炭などから作られている。また、アブラヤシの殻の炭やナッツの殻の炭なども活性炭の原料になるが、まだ、さほど大量には使われていない。それよりもむしろ、これらの炭は通常の燃料として使われている。アブラヤシやナッツの殻が活性炭原料になりにくいのはその殻が基準に合わないほど固いためである。さらに、活性炭の生産工程が複雑で、高額の投資を必要とするため、インドネシアでは伸び悩んでいる。活性炭を使う企業が大企業に限られており、一般の消費者相手ではないという点も足かせになっている。

6.4.5 籾殻くん炭

籾殻くん炭はここ数年のうちに、土壌改良材や肥料の添加物として使われるようになった。この炭の原料となる籾殻はインドネシア、とくにジャワの精米工場から大量に出る農産廃物であるため、きわめて安くどこでも手にはいるという利点がある。籾殻くん炭は肥料添加物として堆肥や家畜の糞、牛糞や鶏糞などにまぜ、発酵させて用いられている。籾殻くん炭を有機肥料といっしょに使うと、土壌構造を改良し、生産力をあげるだけでなく、CO₂を固定する効果も期待できる。さらに、炭と有機質肥料の使用は環境にとって必ずしも良くない化学肥料の使用量を下げることにつながる。ただし、炭入りの有機質肥料の値段がまだ農民にとって高すぎるため、消費はさほど拡大していない。これは肥料の単価が高いだけでなく、耕地当たりの施用量も多いためである。そのため籾殻くん炭入りの肥料はおもに育苗や園芸作物の栽培などに使われている。ただし、生

産された野菜が健康的で品質もよいことから、値は高いが、籾殻くん炭入りの肥料の使用はまだ伸びると思われる。高品質の作物がとれ、市場で高値がつけば、収益も多くなり、農民も安心して有機質肥料を使えるようになるはずである。要するに、籾殻くん炭の利用拡大は緒についたばかりで、とくに農作物への施用については普及の段階にある。

6.5 炭の生産量

6.5.1 種々の炭化法による製炭技術と生産量

表 6.7 (別添) に炭化方法別の炭の種類と生産量もしくは消費量を示す。一般に大、中規模の工場で生産されるものはすべてドラム式炭化炉によるものである。これはドラム式炭化炉が大量生産に適しており、生産工程が単純で扱いやすいわりに、炉の建設費が安く上がるためである。一般にドラム式炭化炉は生産量を増やし、生産効率をあげるために数個ならべて建設される。

簡単な炉で生産している場合は追跡調査が困難なため、信頼性のあるデータが入手できない。調査がむずかしいのは生産工程が簡単で、誰でもできるほど技術レベルが低く、生産している場所も売買する市場も各地に分散しているためである。さらに、簡単な炉の生産量はきわめて小さいので、家庭や小工場で使われている量や金額については、まだ把握しきれていない。

6.5.2 月別炭生産量

赤道にちかく、典型的な熱帯気候のインドネシアには雨季のモンスーンと乾季の 2 シーズンだけがある。ただし、炭の生産は実際この季節の影響をほとんど受けていない。現場でも炭の生産は季節にかかわらず、続けられている。表 6.8a (別添) にインドネシアにおける 2000 年度の月別炭生産量を炭の種類ごとにしめす。また、表 6.8b (別添) には 2000 年度の 1 月から 4 月までの輸出量をしめす。

スマトラでは雨季でも川や運河を使って木材が運ばれているため、原料の調達が可能で、マングローブ炭の生産が続けられている。また、他の炭の生産も陸上輸送のための道路が整備されているので、雨季の影響をほとんど受けない。一方、ジャワの籾殻くん炭製造は収穫期におこなわれるため、多少影響されるが、全体としてみれば、さほどの変化はない。

6.6 炭の用途

以前、木炭はもっぱら燃料として使われ、家庭や小さな工場で消費されていた。しかし、インドネシアでも石油製品が普及しだすと、ケロシンなどの燃料が木炭などの木質燃料に取って代わるようになった。ただし、すべての燃料が石油製品に置き換わったわけではなく、低所得者階層は手ごろの値段で買え、火加減がいいなどの理由で、いまだに好んで木炭を使っている。

近年、飲食品製造や冶金、精練、医薬品製造、化学製品や石油製品の精製など、特定産業の発展に刺激されて、木炭の需要が高まっている。これは木炭が製造工程で脱色、吸着などの補助剤として使われているためである。表 6.9 に炭の用途をまとめて示した。

用途	記載
燃料	家庭用燃料 焼き肉、バーベキュー 製鉄 小工業用燃料 還元剤として冶金に使用
農園芸用土壌改良	土壌改良 土性の改善 炭素固定 水分保持 土壌保全 化学肥料の抑制
水処理	細菌、汚染物質の除去、吸着
活性炭	主原料（多孔質）

出典：Put forward by the Auther's idea

6.6.1 燃料としての炭

マレーシア、シンガポール、台湾、日本などへ輸出されている炭の大半はマングローブ炭である。これはマングローブ炭がこれらの国で通常使われている炭に似ており、使い勝手がよいためである。家庭や小さな工場での炭の消費量やそれに関する情報などはインドネシア統計局の資料にはまったくのせられていない。

燃料やエネルギー源としての木炭は非商品化燃料とみなされているらしい。これは木

炭の生産量や消費量、とくに地方での量、市場価格などが把握しにくいためである。木炭の場合はその生産量や、消費量、市場価格などが正確に把握できる石油や石炭などの化石燃料とこの点で大きく異なっている。

6.6.2 農業および園芸用の土壌改良材

農業や園芸で土壌改良材として使われているのは、もっぱら籾殻くん炭である。籾殻くん炭は土壌の肥沃度や土性を改良し、土壌を保全するのに役立っている。家畜のし尿や有機堆肥などと混合した籾殻くん炭は土壌肥沃度をあげるための有効な有機質資材である。また、細菌の研究結果によると、炭は窒素固定細菌など、有用微生物の繁殖の場になるという。

6.6.3 浄水用

知られている限り、ヤシ殻炭同様、木炭も州立の水処理場以外、水処理業者によって浄水用としてはほとんど使われていない。これは他の水処理材が十分出回っているためである。水処理での木炭やヤシ殻炭の使用は仕上げのろ過工程に限られている。ただし、家庭用飲料水を供給している小規模の水処理会社では木炭や活性炭が使われている。

6.6.4 活性炭

活性炭はその高い吸着性能のために、特定の産業、たとえば飲食品製造、医薬品製造、水処理、石油精製、排気ガスや有毒ガスのろ過吸着などで使用されている。

6.7 インドネシア国内市場の炭の消費量

国内市場で取り引きされる大、中規模の企業向けの炭は主にココヤシのヤシ殻炭と雑木から作られた木炭である。これらの企業で使われる各種の炭の消費量を表 6.10 にしめす。なお、家庭用木炭については信頼できるデータがない。

大、中規模の企業で消費される炭の量をみると、そこへ供給される炭の大部分が小企業や家内工業に由来していることがわかる。というのも、大、中企業が買っている炭の価格が製炭業者から買うものよりもやすいからである（表 6.11、6.12 参照）。大、中規模の製炭工場で生産される炭は輸出用か、関連会社へ直接送られるものである。この炭の

流れと消費、輸出量の動きを図 6.1 (別添) 6.2 (別添) にしめす。

表6.10 国内消費量と輸出入量の比較

番号	炭の種類	比率 (%)		
		国内消費	輸出量	輸入量
1	ココヤシのヤシ殻炭	90.90	9.10	ごく少量
2	木炭	25.18	74.80	ごく少量
3	マングローブ炭	少量 (データなし)	100.00	ごく少量 (省略)
4	活性炭	76.00	0.00	24.00
5	モミ殻炭	100.00	データなし	-
6	ブリケット炭	ごく少量 (データなし)	100.00	ごく少量 (データなし)

注： ・ごく少量は0.01%以下を意味する(省略可能)

・活性炭の輸入量は2,593tonである

出典：Statistics Center Bureau of Indonesia, Export - Import in 1999

表6.11 原料としての炭の価格(1999年)

炭の種類	特殊な品目の製造または処理に関する記述	単位	単価(Rp)
ヤシ殻炭	・農産物由来の化学物質の精製	ton	450,000
	・合成繊維製造	ton	771,376
	・金属加工	ton	730,900
	・作業機械製造(木質材料)	ton	325,606
	・天然ガスの精製、純化	kg	475
	・核燃料精製	kg	1,453
	・殺虫剤の製造	kg	804
	・ゴム、接着剤の製造	kg	940
ヤシ殻炭	・爆薬等の製造	kg	833
	・指定なし	kg	1,136
	・家庭用	kg	85
	・ガラス研磨	kg	26,112
木炭	・運搬、輸送	kg	446
	・鉄の精練	kg	299
	・化学工業	ton	244,488
	・非鉄金属の加工	ton	325,606

出典：Put forward and calculated by Author's own idea from
Statistics Center Bureau of
Indonesia,
Large and Medium Manufacturing Statistic, 1999

表12 炭製品の価格(1999年)

炭の種類	特殊な品目の製造または処理に関する記述	単位	単価 (Rp)
木炭	・石油精製品由来物質の製造	kg	2,000
	・農産物由来の有機物質の精製製造	kg	1,359
	・石油精製品由来物質の製造	ton	1,700,000
ヤシ殻炭	・農産物由来の有機物質の精製製造	kg	1,484

出典： Put forward and calculated by Auther's own idea from
Statistics Center Bureau of Indonesia,
Large and Medium Manufactureing Statistic, 1999

大、中規模の企業むけに国内市場で扱われているのはヤシ殻炭と木炭である。ただし、表 6.10 にしめた通り、マングローブの材を炭化して作られた炭は大部分輸出にまわされている。前述の表 6.6 と 6.7 には大、中規模の企業で消費される炭の量と関連企業で生産されている量をあげた。

6.8 炭の取り引きと市場の実態

6.8.1 輸出

2000 年を通じて輸出量がヤシ殻炭とマングローブ炭の注文が減ったために、もっとも多かったのはマングローブ以外の木材を原料とする木炭であった。1997 から 2000 年にわたってインドネシアから輸出された炭の量を表 6.13 と図 6.3 (別添)、図 6.4 (別添) にしめす。

表13 製品別炭輸出量 (1997 - 2000年)

炭製品	1997	1998	1999	2000
重量 単位 (kg)				
ヤシ殻炭	21,456,270	9,461,652	18,742,147	26,734,741
マングローブ炭	65,315,816	63,846,841	45,138,332	44,393,849
雑木炭	66,228,309	61,090,319	66,195,904	77,574,053
価格 単位 (US\$)				
ヤシ殻炭	4,039,375	1,931,181	3,531,832	4,766,192
マングローブ炭	11,098,465	11,676,547	6,032,811	6,661,771
雑木炭	16,682,638	15,854,330	13,918,893	18,439,241

出典： Statistics Center Bureau of Indonesia,
Export - Import in 1997, 1998, 1999 and 2000

1998 年のヤシ殻炭の輸出量は 1997 年の量にくらべて減少している。これはインドネシアを襲った経済危機によるものである。しかし、その後は持ち直し、1999 年の末から 2000 年にかけて、1997 年の輸出量に近づいている。一方、マングローブ炭の輸出量は 1997 年から 2000 年にかけて、急激に減少する傾向を示している。これはマングローブ材の蓄積が減り、リアウ州で植林している木がまだ若く、需要に追いつけないためである。このような減少傾向にはまだ知られていない他の原因があるのかもしれない。

1) 輸出用木炭の生産地

先に示した表 6.1 (2000 年) をもとに地方での生産をみると、輸出用木炭の主な産地は東ジャワとランブ州で、その全体に占める割合はそれぞれ 41% と 33% であった。一方、マングローブ炭の 2000 年度における主産地はリアウ州と北スマトラ州で、それぞれ 61% と 35% を占めている。また、ヤシ殻炭の主産地は北スマトラ、ランブ、ジャカルタ地方の順で、その割合はそれぞれ 35、21、18% となっている。

2) 炭の輸出先

炭の輸出先はアジア、アフリカ、オーストラリア、ニュージーランド、アメリカ大陸、ヨーロッパときわめて広い。2000 年度のマングローブ炭の輸出先は表 6.14 に示すように、シンガポール 32.3%、台湾 28%、マレーシア 16.67%、日本 8.5% などである。ヤシ殻炭の輸出先は示すように、日本 27.74%、韓国 26.88%、マレーシア 17.76%、台湾 16.83% となっている。また、マングローブ以外の木炭の輸出先は韓国 40.76%、ノルウェー 25.5%、日本 10.79%、マレーシア 9.6%、台湾 6.44% などである。

表6.14 マングローブ炭の輸出先

番号	炭の種類 輸出用商品	(ton)	輸出相手国	(%)	輸出用炭の 主要な産地	(%)
1999年	マングローブ炭	45,138	シンガポール	30.34	北スマトラ	53.00
			台湾	19.87	リアウ	41.00
			マレーシア	12.90		
			日本	11.11		
	雑木炭	66,995	韓国	38.00	ランブ	41.00
			ノルウェー	31.00	東ジャワ	30.00
			日本	10.00	北スマトラ	12.00
			台湾	4.00		
	ココヤシのヤシ殻炭	18,742	日本	42.00	北スマトラ	44.00
			フランス	19.00	ランブ	27.00
韓国			16.00	ジャカルタ特別市	13.00	
2000年	マングローブ炭	44,393	シンガポール	32.00	リアウ	61.00
			台湾	28.00	北スマトラ	35.00
			マレーシア	16.00		
			日本	18.00		
	雑木炭	77,574	韓国	45.00	東ジャワ	41.00
			ノルウェー	28.00	ランブ	33.00
			日本	12.00	ジャカルタ特別市	18.00
			台湾	7.00		
	ココヤシのヤシ殻炭	26,734	日本	27.00	北スマトラ	35.00

		韓国	26.00	ランブun	12.00
		台湾	17.00	ジャカルタ特別市	18.00
		マレーシア	16.00		

3) 炭の輸入

インドネシアへの炭の輸入量は輸出量にくらべると、ごくわずかである。2000年度におけるインドネシアの炭の輸入量をみると、マングローブ以外の木炭がもっとも多く、マングローブ炭とヤシ殻炭がこれに次いでいる。実際、マングローブ炭の輸入が始まったのはその生産が落ちた2000年にはいつてからのことである。炭の輸入に関するデータを表6.15、図6.5(別添)にあげる。

表6.15 炭の製品別輸入量(1997 - 2000年)

炭製品	1997	1998	1999	2000
重量 単位(kg)				
ヤシ殻炭				728
マングローブ炭				23,200
雑木炭	195,029	31,390	5,486	97,646
価格 単位(US\$)				
ヤシ殻炭				487
マングローブ炭				8,761
雑木炭	188,120	80,502	3,690	171,555

出典: Statistics Center Bureau of Indonesia,
Export - Import in 1997, 1998, 1999 and 2000

国別にみると、インドネシアに対して日本が50トン強と最も多く輸出しており、アメリカが37トンとこれに次いでいる。しかし、この量はインドネシアから輸出されている量、77.574百万トンに比べれば、微々たるものである。輸入された炭は絵画や装飾など、ごく特殊な分野で使われている物である。輸入される炭の値段は輸出用のものにくらべてかなり高く、約4倍の高値がついている。

なお、2000年にはマングローブ炭をイギリスから買い、オーストラリアと日本からヤシ殻炭を買いはじめている。表6.19(別添)に輸入量とその相手国をあげておく。

7章 本事業での炭化事業の可能性

インドネシアの大手林業会社、バリトパシフィックグループに属している植林専門の子会社ムシフタン・ペルサダ社（ムシ社）は、南スマトラ州パレンバン近郊に 29 万 ha の植林コンセッションを有している。その中で 1991 年以降アカシアマンギウムの植林を行い、現在 19 万 ha のアカシア人工林を所有している。密植、短伐期、改植を行い、1999 年以降、年間約 10,000ha を皆伐し、同一グループの PT タンジュンエニム社（タンジュンエニム社）にパルプ用材を供給している。

ムシ社の皆伐後の林地には全伐採量の 15% に当る大量の残材が放棄されており、火災の原因になりかねないため懸念されている。一方、パルプ工場でも大量の樹皮やチップダスト、端材などが発生している。一部は工場運転の動力をまかなうためにバイオマス発電に使用されているが、余剰はまだかなりの量にのぼっており、処分方法と活用が求められている。

そのため、この 2 種の立地条件と質の異なる材料を炭化し、一部は地域住居の燃料と農地の土壌改良用に、一部は林地へ還元し、地力維持を図るために、さらに活性炭等の工業原料や煉炭等の燃料炭としての利活用を多面的に図るために、複数の方法を検討し提案することとした。

7.1 林地残材に適用できる炭化技術

アカシアマンギウムのパルプ用材は元口 7cm 以上、長さ 2.5m と決められている。そのため炭材として使用できる部分は元口 7cm 以下の材となるが、葉、細枝、樹皮などは林地に有機物として還元する必要があるため、径 4~7cm のものを炭材として利用する。

この炭材の量は現地における概算で重量にして 8ton/ha となる。材は乾季を過ぎるとよく乾燥するため、数ヶ月放置したものでは含水率が 15% 以下となり、ほぼそのまま炭化することができる。

以下に林地残材の炭化方法とその出炭量等について、いくつかの例を示す。

7.1.1 ドラム缶法による炭化

a) 炭化炉：

通常のドラム缶を図 7.1（別添）のように加工する。缶の上蓋を切り取り、底面に径

1～2cmの孔を20個程度開ける。切り取った上蓋に把手や煙突を付けてもよい。煉瓦を8～10個用意する。

b) 炭化方法：

風通しをよくするためにドラム缶の底が土に接しないよう煉瓦を置き、その上にドラム缶を立てる。乾いた細枝を底に入れて着火し、炬火ができるまで燃やし続ける。底が充分炬火で詰まった上に炭にする木片や枝を適当に切って入れ、押さえつけて充填する。蓋をしてそのまま燃焼させ、煙の色が白色から紫色に変わったらドラム缶の底を粘土か土でふさぎ、空気の流入を止める。上蓋にも粘土を貼りつけて煙の出方を調節し、蒸し焼きにする。熟練すると、一人で10缶程度を扱い、一日で焼き上げることができる。地域住民の作業としてなじみやすく、細枝や木片、樹皮等の炭化に適している。大きいものは燃料に、小さいものは砕いて農地に使用することもできる。

またドラム缶を2個、真中から縦断して展ばし、溶接によってつなぎ、大きい缶を作ることできる。底や上蓋には鉄板かブリキ板を用いる。コルゲート缶などを用いてもよい。現地で入手しやすく安価なものが望ましい。

c) ドラム缶法のメリット

- ・設備費が安価で製法が安易なため、地域住民が参加しやすい。
- ・1人で15～20ヶ所の炉を管理することができ、さほどの熟練を要しない。
- ・朝から夜にかけて8時間で製炭が完了するため、夜間安全で火災の心配がない。
- ・ドラム缶は最低100回は連続使用が可能で、現地でも入手しやすい。
- ・急速炭化するため軟質炭や粉炭ができやすいが、未炭化物はない。そのため農業用に用いる場合は砕きやすく、有害物が少ないという利点がある。燃料炭としては質が低い。
- ・バーク、細枝、ココヤシの殻、その他のごみの炭化にも使用できる。
- ・雨季にはトタン板で雨よけをする程度でよい。
- ・材料の運搬、こなし、炭の袋詰めなどに1～2名の補助労働者が必要。家内労働に適している。

7.1.2 コルゲート缶法による炭化

a) 炭化炉：

既成のコルゲート缶をつなぎ、前方に燃焼室、後方に煙突を付けたもので、移動炭化炉の一種である。図7.2(別添)のように、直径2m、長さ7mの円筒型で、上下に2分

できる。上部と下部はストッパーでとめ、上部の開閉にはチェンブロックを用いる。炭化炉部分の容積は 20m^3 、前の燃焼室は 1m^3 程度である。

b) 炭化方法：

地面にこのコルゲート缶が入るだけの溝を切る。前方がやや低くなるように傾斜をつけて設置する。上蓋を開いて、炭材を縦方向に寝かせて積み、隙間が少なくなるよう細い枝で充填する。炭材が詰まった部分から蓋をかぶせて、ストッパーで上下をとめる。充填が終わったら全体に土をかけ、空気がもれないよう密閉する。前室に乾いた材や枝を入れて燃しつづけ、炭化炉に火が移ったら、点火口を小さくして空気の流入を調節する。2〜3日ほどして煙の色が変化したら通気口を密閉し、煙突を閉じて放置する。炭化の過程で煙を冷却し、木酢液をとることもできる。

c) コルゲート缶法のメリット

- ・コルゲート缶炭化炉は重機械によって簡単に移動できる。炉の一部が変形、破損した場合は部分的に補修できる。
- ・製法が簡単で炭質が安定しており、長い変形の少ない材料に適している。2〜3mまで可。
- ・上蓋の取り外しが容易なため、作業性に優れている。
- ・炭が良質になるので、家庭用や輸出用にも使える。日本等での新用途の原料としても有望。
- ・バーク、廃材その他の炭化も可能。
- ・ドラム缶にくらべて炭化炉が高価になる点が問題。

7.1.3 組立て式炭化炉（煉瓦室）による炭化

a) 炭化炉：

材料は煉瓦、鉄板、鉄製アングル、煙突、セメント、パイプ等である。図7.3（別添）のように1mの立方形L字型の鉄製アングルを作って、地面に据え付ける。アングルの内側に煉瓦をはめこんで、粘土と木灰を混ぜたもので接着しながら壁を作る。3つの側面の最下段の中央に円形パイプ（5cm径）を通す孔を開けておく。ただし、燃焼と炭化を行っている間は粘土で封じておく。

組み立て式

b) 炭化方法：

よく乾いた材を炉の底部で燃やし、炬火ができたところで炭材を上から入れる。下部の通気孔は開けておく。炭材に充分火がまわるまで、蓋をせず開けたままで燃焼させる。焰があがりはじめたら上面を鉄板で蓋をし、粘土と木灰を混ぜて練った土をぬりつけ、たたいて密閉する。煙の出方を見て通気孔を小さくし、終了段階で通気孔と煙突をふさぐ。炉の最下段に開けておいた孔は、採集段階まで粘土を詰めて蓋をしておく。通気を止めたところで炉の中心まで届く長さの鉄パイプ 40～50cm を突きさし、わずかに空気を送り込む。これによって燃えにくかった下部を燃焼させ、上下の温度差を少なくする。この精煉工程を入れると良質の炭ができる。3～5m の長さの炉が効果的である。

c) 組立て式炭化炉のメリット

- ・ 炉の材料を運んで現地で組立てることができる。炉の壁材をあらかじめ組み立てて置いておくと、さらに容易に運ぶことができる。
- ・ ドラム缶よりも安全で、煉瓦は安価に入手できる。ただし、アングル、鉄板などの加工に経費がかかる。
- ・ 原理は伏せ焼きを改良したもので扱いやすい。
- ・ 熱効率がよく精煉の工程が入るため、高品質の木炭が得られる。

7.1.4 伏せ焼きによる炭化

インドネシアの農村で行われている伝統的な方法で、農民の副業として行っている。地面に幅 2m、奥行き 3m、深さ 50cm ほどの浅い穴を掘り、手前に水が出るようにする。底に木材を縦横にならべ、燃えやすいものを手前において着火材とする。穴のまわりに杭を打って木材か板を並べ、壁を作る。すき間を草や小枝で詰める。かこいの中に炭材を詰め 1m ほどに積み上げた後、上面や側面を青草や枝でおおい、土をかけ、たたいて固める。炉の後方には煙が出やすいように煙道を作る。手前の着火材に火を付け、全体に火がまわって煙の色が変わるまで燃しつづける。煙の色が変わると全体に土をかけて蒸し焼きにする。わずかなすき間から空気が入り、徐々に炭化が進み、5～6 日で焼き上げる。

炭の質は安定せず、未炭化物が多く揮発分も残るために、燃料としても土改材としても不十分である。

ただし地方住民は製造法に習熟しており、炭焼きを専門とする人達がいる。マレーシアへ出稼ぎし製材の端材などを炭にしているのも、ほとんどはインドネシア人である。

そのため製炭事業が軌道に乗ると、従事する労働者は多いものと思われる。ただし技術的には未熟なため、林業省が技術改良に取り組もうとしている。

7.2 林地残材からの製炭量の推定

7.2.1 ドラム缶

a) 木炭の生産量（出炭量）:

ドラム缶1個で炭化できる木材の量は60kg（風乾）、その木材の含水率を15%とし、収炭率（原料の木材重量に対する炭の重量率）を20%とする。

$$\text{炭材重量 } 60\text{kg} \times 0.85 = \text{炭材の絶乾重 } 51\text{kg}$$

$$\text{炭材の絶乾重 } 51\text{kg} \times \text{収炭率 } 20\% = \text{出炭量 } 10\text{kg/缶}$$

この方法によると1缶で60kgの木材を炭化し、約10kg（1袋）の炭が得られることになる。

したがって、林地残材が1ha当り8t-dmの場合は、 $8\text{t-dm} \times 0.85 \times 0.2 =$ 出炭量1,360kg/ha、径4~8cmの比較的太い材を対象として算出すると、伐採後に1ha当り1.34tonの炭が得られることになる。放置される残材の量からみて、ha当りの出炭量が2tonをこえる場合も多いと思われる。

年間10,750haのアカシアマンガウムが伐採され、林地残材がすべて炭化されたと仮定すると、この植林地からだけでも14,620 25,692tonの木炭が生産されることになる。木炭の80%が炭素と仮定すると11,696 20,554tonの炭素量が固定されることになる。実際には年稼働11ヶ月になるので、

$$14,620 \text{ 25,692ton} \times 11/12 = 13,400 \text{ 23,551ton}$$

b) 製炭に要する人員と日数:

1人の熟練した労働者が20缶を管理して炭化作業を行ったとする。1缶当りの出炭量は10kg、20缶を扱うので1日200kgを生産することができる。したがってha当り出炭量が1,360 2,390kg/haとなるため1日200kg（20缶）生産して12日かかることになる。

10,750haの林地残材の炭化に要する人員、ドラム缶数を出炭量から計算する。

$$\text{出炭量 } 200\text{kg/人} \cdot \text{日} \times 20 \text{ 日/月} \times 11 \text{ ヶ月} = 44\text{ton} \text{ (1人当りの年間出炭量)}$$

$$\text{出炭量 ha 当り } 1.36 \text{ 2.39ton} \times 10,750\text{ha} \times 11/12 = 13,400 \text{ 23,551ton、}$$

$23,551\text{ton} \div 44\text{ton/人}\cdot\text{年} = 535 \text{ 人}$

$535 \text{ 人} \times 20 \text{ 缶} = 10,700 \text{ 缶}$ が必要となる。

これに炭材の準備、運搬、木炭の切断、袋詰め、運搬等を考慮すると、最低2倍の人数、1,070人程度を必要とする。これは雇用機会の創出につながるため、地域対策としての意義は大きい。

c) 労働者の賃金と雇用：アカシアマンガウムの伐採は年間を通じて計画的に行われているので、製炭労働者は伐採跡地で働き、さらに植林の労働者としても働くことができる。製炭後の灰やくずの炭はそのまま植林時に利用できるだけでなく、各自の農地でも使うことができる。

燃料として販売する場合は10kg袋が基準となるが、価格は地方によってかなり異なっている。ジャワ島のジャカルタ周辺では、小売価格で10kg袋が3,000～5,000Rpとしても1日20缶で40,000Rpとなるため、製炭業者にとってはよい収入源になると思われる。残廃材処理と地ごしらえ費用が製炭によってまかなえれば、植林会社のメリットも大きい。現地雇用労働者の賃金、木炭の価格、植林経費、住民の反応などを勘案して計画を立てる必要がある。

7.2.2 コルゲート缶

a) 木炭の生産量：炭材の量を 1m^3 300kgとすると、 20m^3 のこの炭化炉で炭化できる木材の量は6,000kgになる。木材の含水率を15%とすると水分量は900kg、絶乾後の炭材重量は5,000kgとなる。収炭率を20%とすると出炭量は1tonになる。この量は、ちょうどドラム缶20個を用いて5日間で炭化したのと同じ量になる。

ha 当り廃材が多い場合は、炭材の量に応じてコルゲート缶の数を増やせばよい。いずれの場合も1ha 当り1基の炭化炉を設置し、一回で処理できることになる。

b) 製炭に要する人員と日数

林地残材がha 当り14.06tの場合は15～18日を要する。日数の長短は炭材の乾き方、太さなどによって変化する。ドラム缶法による炭化にくらべて多少日数を要し、炭化技術を習得する必要がある。

10,750haの林地残材をこの方法で処理しようとする、以下のようなになる。

出炭量は $1\text{ton/基} \times 2 \text{ 回/月} \times 11 \text{ ヶ月可動} = 22\text{ton/基}\cdot\text{年}$ となる。すなわち1基の炭化炉で1回に1ton生産できるため、1年(11ヶ月)で1基が22ton生産することになる。

出炭量を ha 当り 2.39ton (8t x 0.85 x 0.2) とすると、10,750ha から 25,692ton の炭が得られる。年稼働を 11 ヶ月とすると年 23,551ton が製炭されるので、これを 1 基当りの年間生産量 22ton で割ると、1,070 基が必要となる。

3 人で 10 基管理できるので 321 名の人員で製炭が行える。ただし、材料の運搬、切断、炭の袋詰め運搬などを考慮すると、ドラム缶法の場合同様、約 2 倍の人員、642 程度が必要と思われる。

7.2.3 組み立て式炉

組立て炉を 1 基用いると、 $1\text{m}^3 = 300\text{kg-dm}$ の木材を炭化することができる。炭材の含水率 (15%) と収炭率 (20%) が先の例と同じとすれば、1 基から 1 回 50kg ($300 \times 0.85 \times 0.2$) の炭がとれる。炭化には半日およそ 12 時間を要する。

1 基から 50kg の木炭が 1 日 1 人の管理で生産されることから、月に 20 日 11 ヶ月可動させると、1 基から 1 人で年 11ton 生産することができる。

$$50\text{kg/日.人} \times 20 \text{ 日} \times 11 \text{ ヶ月} = 11,000\text{kg}$$

この炭化炉は 1 人で 10 基管理できるため、年間 1 人当り 110ton の木炭が生産されることになる。

$$11\text{t/基.人} \times 10 \text{ 基} = 110\text{t/人}$$

ha 当り 14,060kg の木材からは 2,390kg の炭がとれる ($14,060 \times 0.85 \times 0.2$) ので、10,750ha の林地残材をこの方法で年稼働 11 ヶ月で処理すると、23,551t/年

$$23,551\text{ton} \div 11\text{ton} = 2,141 \text{ 基}$$

$$2,141 \text{ 基} \div 10 \text{ 基/人} = 214 \text{ 人}$$

2,141 基、214 人で生産が可能になる。ただし炉を作る手間や材料の運搬、準備等を含めると、3~4 倍の人員、642~856 人を必要とする。

1 人あたり 10 基の管理ができるので、1 力所に 3 人で 30 基を設置する。

$$2,141 \text{ 基} / 30 \text{ 基} = 71.4 \text{ 力所 (72 力所)}$$

が必要である。ただし実施されている例がまだ少ないので、煉瓦の入手や運搬、炉の製造技術なども含めて試験する必要がある。

7.3 パルプ工場の樹皮、ウッドロスの炭化技術と製炭量推定

タンジュンエニム社のパルプ生産工場では毎日大量のアカシアマンガウムの木材が処理されており、膨大な量の利用されていない樹皮、ウッドロス、チップダストなどの廃材が出ている。この工場で取り扱う材はムシフタン・ペルサダ社が供給するアカシアマンガウムだけに限られているため、他の材料の混入がなく素材が極めて単一である点に大きな特徴がある。

工場から出る樹皮は月 6,078ton 乾重、パルプ原料とならなかった材（ウッドロス）が 7,267ton 乾重、チップダストが 1,470ton 乾重に達しており、合計 14,815ton 乾重の廃材が毎月排出されている。現在は、バーク、ウッドロスおよびチップダストは混合して排出され、発電用ボイラー燃料に利用され、残りは埋め立てられている。本事業計画では、バークとウッドロスは粉炭として、チップダストは活性炭として利用できる可能性が高く、技術的にはこれらを仕分けることが可能である。

現実の数字から、次のように仕分けるものとする。バークとウッドロスの 13,345bd/月のうち 9,412bd(全量の 63.5%)は発電用ボイラーの燃料として利用するものとする。炭化の対象となるのはこのバークとウッドロスの残り 3,933bd/月（全量の 26.5%）とチップダストの 1,470bd/月（全量の 9.9%）である。

7.3.1 バークおよびウッドロスの平炉による炭化

1) 炭化炉：

チップの製造工場から出る樹皮や木片を炭化する際には、古くから平炉が使用されている。この炉は構造が簡単で故障が少なく、メンテが容易で設備投資も低く抑えられるという利点がある。ただし製造に人手を要し、粉塵の発生や時に火災の心配があるなど、デメリットも多い。日本では宮崎県の九州産業、栃木県の日本林産燃料、北海道の下川町森林組合、山田炭化工場等がよく知られており、インドネシアにもいくつかの工場がある。

基本的には図 7.4 に示す通り、幅 3m、奥行き 6m、高さ 1.5m の煉瓦で囲った長方形の炉である。したがって 1 基の容積は 27m³となる。炉床に 2 本の浅い煙道を作り、穴の開いた集煙板で覆う。その先端にタールを集めるピットを設け、煙突を立てる。

基部の詳細は図 7.5 に示す。炉床は煉瓦を敷いてコンクリートをうつ。炉壁や煙道についても同様に煉瓦を積んでコンクリートをうつのが望ましい。煉瓦が入手できない場合はコンクリートだけでもよい。炉の前面（煙突の反対側）は炭の取出しを容易にする

ため上下スライド式の鉄枠入りアルミナキャストの扉にする。必要に応じてこの基本型の炉を横につなぐ、煙突を立てる側に煙道につながるタールピットを設け、タールを集めると同時に煙を1本の煙突に導く。煙突は高いほど吸気しやすく、高さ大きさはカバーする炉の数によって決まる。

インドネシアで実際に使用されている平炉を図7.6に示す。この例では幅2m、奥行き7m、高さ1.0mで14m³と小さい。炉床は全面にすのこ状にレンガを敷く。煉瓦壁の厚さは40cmである。炉床の煙道に直結する横の煙道が、各炉をつなぎ煙を煙道に導く。炉のうち作業を中止しているものは、煙道口を煉瓦でふさぐ。一方向から原料を炉に入れ、炭を反対側から取出すため作業しやすいように段差をつけている。この場合は1基作るのに煉瓦を6,000～7,000枚使用している。

平炉による製炭は4日で1サイクルとなるため、原材料の量(月3,930ton)からみて170基の平炉を必要とする。170基の炉を稼働させるには5～10本の煙突(2×2m×高さ25m)が必要となる。

2) 炭化方法：

原材料は乾燥しているほうが炭化時間は短縮されるが、燃焼しやすくなるため多少湿っているほうが良い。

炉床の上に燃えやすい乾いた材料を置いて着火し、火が付いたらショベルカーで原料を炉に投入し、人手でならず。火が上面に達して燃え出したら、原料を補ってならず。均一に火が回り上面まで炭化したら、水をかけて火を消し、完全に消化したものをショベルカーで取り出す。この時点で炭の含水率は約20%になる。生産された炭はフレコンバッグ(1m³)に詰めて輸送される。炭の粒径を整える必要がある場合は篩分け工程が加わるが、林地に還元する場合は必要としない。

炭化が進行している間は、燃え上がらないよう監視するため昼夜勤務となる。

3) 製炭量

図7.7(別添)に必要な数値を入れた模式図を示す。

年稼働月数を11ヶ月とすると、炭の原料となるバークとウッドロスの量は年間43,263tonになる。平炉による炭化を行った場合、バークとウッドロスの収炭率を25%とすると年10,816ton、月901tonの粉炭を生産することになる。

4) 作業工程および人員数

パルプ工場から、バークとウッドロスの混合物が月当たり3,930ton、体積にすると(BD

0.12g/ml) 32,750m³ 出る。これを炭化工場まで運ぶのに 21m³ 積載トラックが 5 台、1 日に 10 往復しなければならない。この原料を炭化炉への投入と炭化物の取り出しに最低 2 台必要になる。炭を運搬するトラックの台数は、1 日 7 台、月に 210 台を使用する。ただし木材運搬トラックを利用すると、林地へ炭を還元する分については戻り車を利用できるので運搬手段を考える必要がない。包装された炭の上げ下ろしにフォークリフトが 1 台必要となる。

作業員数は、パルプ工場から炭化工場へ機械とトラックを用いて運搬するのに最低 11 名を要する。炭化工場で原料を投入するショベルカーの扱いに 3 名、3 交替制で補助 1 名を加えて 10 名、炭化炉の管理を 10 基に 1 名、3 交替制で補助 9 名を加えて 81 名、合計 91 名となる。炭を取出しフレコンバッグに詰め包装するのに 3 名、3 交替、補助 1 名で 10 名を必要とする。したがってこの規模の炭化工場を運転するには、事務員や清掃作業員も含めると 120～130 名を雇用することになる。

5) 炭化工場の施設、設備

建屋：

- ・炭化炉上屋：鉄骨、スレートまたはトタン葺き。壁は不要、木材は不可。平面 60×78m、高さ 4～8m、2 棟。または平面 60×156m、高さ 4～8m、1 棟。
- ・倉庫：2～3 日分の炭化物 (440～660m³) を一時ストックし、包装作業を行うための倉庫。鉄骨、スレートまたはトタン葺き。平面 15×30m、高さ 6m。木材は不可。
- ・従業員食堂、休憩室、トイレ、シャワー、事務室等：平面 12×35m、高さ 4m。
- ・守衛所、タイムカード室：平面 3×3m、高さ 4m。

建屋の総面積は 10,239m²、ただし規模は従業員数、炉の数等によって適宜変更する。

ユーティリティ：

用水、電力、排水等の施設を含む

- ・雑用水 (トイレ、シャワー用)：40m³/日を必要とする。河川水または井戸水を濾過した程度。
- ・炭化消火用水および一般消防用水：1 日 30m³ が必要。直接河川水または井戸水を使用する。場合によっては貯水槽、2～3 日分が必要となる。
- ・照明用電力：炭化炉および事務所、倉庫、その他用として Na ランプ 100w を 48

ヶ所に設置。

- ・動力用電力：用水ポンプ、コンベアー用等、必要量は規模によって異なる。

以上のものを設置するのに要する面積は、ほど 3ha になる。

施設、設備費の推定

(千円)

- ・炭化炉：1 基 50 千円、170 基設置 = 8,500 千円
- ・建屋：m² 当り 5 千円として、7,167m² = 35,835 千円
- ・敷地：2ha、ha 当り 3,000 千円として = 6,000 千円

合計 50,335 千円を要する。

ショベルカー3台、トラック5台、フォークリフト2台、その他の車両を加えると、約 70,000 千円 (70 百万円) 規模と推定される。

6) バーク炭製造コストの試算

a) 費用

設備投資を 1 億円、5 ヶ年償却として試算すると表 7.1 のようになる。

表7.1 樹皮、ウッドロス炭化 (平炉) に係る設備投資と経費

			小計		
			千円/年	千円/年	千円/年
固定費 (70百万円、5年償却として試算)			23,980		
償却費			14,000		
平均金利	2%		1,400		
補修費	3%		2,100		
人件費	R.P15,000 (200円) /日 × 120人 × 360日 =		6,480		
変動費			17,600		
原材料	無料とする (または廃棄物処理費をもらう)				
電力	照明およびポンプ	550	16,350		
水	25200m ³ /年 @10円	200			
管理費	諸経費を入れて	5,000			
輸送費	列車-ランボン州港 @1000円/t	10,600			
その他資材費			1,250		
合計			41,580		41,580

b) 収益性

平炉の稼働期間を 11 ヶ月とする。これはイスラム教のラマダンに当たる月を休業とし、工場の修理を行うためである。したがって炭の年間生産高は、月産 964ton とすると 11

ヶ月分で 10,640ton となる。炭の工場渡し価格を 5 円/kg とすると 53,200 千円/年、8 円/kg とすると 85,120 千円となる。

現在の市場価格からみて、原価を 5.4 円/kg とみなし工場渡し価格を 8 円/kg にするのが妥当と思われる。5 ケ年で減価償却するには、この価格が維持されるのが望ましい。

日本への輸出の可能性について、C/F20～25 円/kg で使用場所着の価格が 30～40 円/kg なら、煉炭に混合して燃料用としたり土改材として販売しても採算が取れる。ただし輸送には 1m³ のフレコンバッグを使用するので、包装材費が 5 円上乗せになる。ちなみに 40 フィートコンテナに 1m³ のフレコンバッグ約 300kg が 48 個、計 14.4ton を入れることができる。日本、その他の国における用途開発、再生可能エネルギーとしての価値の認知が進めば、輸出用としても有望である。

パーク炭を輸出する場合には、製品品質には一定の基準がある。参考に要求される品質を表 7.2 に示した。

表7.2 樹皮の炭化製品の品質 但し絶対乾値

a)	粒度	10～50mesh 50～100mesh	50～60% 40～50%
b)	揮発分	(運転条件により調整)	20～30%
c)	灰分		1.5～2%
d)	固形炭素		70～75%
e)	見掛比重		0.3～0.35g/ml
f)	水分	(加水により調整)	

7.3.2 その他の方法による炭化

平炉以外の機械化された炭化炉が数種開発されており、日本等の先進国で使用されているので紹介する。ただしこれらの方法はいずれも効率的ではあるが、インドネシア等、人件費が安く機械のメンテが困難で動力源に乏しい所では適さないので、概要を述べるに留める。

1) 流動炭化炉

パークやウッドロスを破砕、篩分けして粒径をそろえる。これを炭化炉から出る廃ガスを燃焼させた熱で乾燥させ、炭化炉へ送りこむ。炭化終了後は水冷して取出す。この炭化炉は建築廃材などの乾燥した材料をチップ化して炭化するのに適しており、含水率の高い材料には適さない。

豊橋市の松井工業での例によると、1.6mの流動炭化炉1基で原料36ton/日(20hrs)を炭化し、9tonの炭を取出している。チップパー、篩分け機、炭化炉、冷却装置、包装機等を含めると、1系列1.5～2億円を要する。

先の例に当てはめると処理能力から見て5系列が必要とされるので、7.5～10億円の設備投資となる。ただしほぼ完全に機械化されているので1系列について5人、3交替制で運転できる。

2) 揺動炭化炉

日本での実績は多い。現在最も多く稼働しているSR-2500型によると、1時間に原料2tonを炭化し400kgの炭が生産される。炭化温度が600～800と高いために収炭率は20%になる。

この方法を用いる場合はSR-2500型が4系列、さらに大型のSR-4000型では2系列が必要となる。炉の価格だけをみると、SR-2500型4系列で5億円、SR-4000型2系列で3.5億円となる。これに付随する設備を加えると、約1億円が上乗せされることになる。

3) スクリュー炉

(別添：図7.8、7.9および7.10)

日本では2社が使用している。朝日カーボン(株)の例によると、YK-2型の炉で1時間当たり850kgの原料を炭化し、210kgの炭を生産する。1日22時間稼働で、原料18.7tonから炭4,620kgを生産する。効率は流動炭化炉や揺動炭化炉に比べてかなり劣っている。

先の例に当てはめると、ほぼ3基が必要となる。炉の価格が1基約1億円で計3億円を要する。

4) ロータリーキルン

この炉を使用している例もいくつか見られるが、規模が小さく重油バーナーが必要になるなど、設備費に比べて効率的でない欠点がある。大量生産には適さず成功例は少ない。

5) コルゲート缶炭化炉

先に紹介したもので、安価。移動が容易で操作が楽に行える。パークやウッドロスの乾燥した材料に適しているが、大量処理には適さない。

7.4 パルプ工場のチップダストの炭化技術と製炭量推定

インドネシアでは、木質原料から粉炭を作り水蒸気賦活法による粉末活性炭製造が広く行われており、年間約 10,000ton が生産され、その 1/2 近くが輸出されている。この木質原料は主に天然林の伐採木を製材、加工する際に出る鋸屑やプレーンカンナ屑で、多くの場合炭化工場は製材工場に隣接している。

しかし、今後数年以内に天然林の減少と盗伐禁止によって木材の生産が落ち込むと思われる。活性炭の木質原料の不足が予想される。これに代わる原料として、アカシアマンガウム等の植林木伐採後の残廃材や、パルプチップ工場から出るチップダスト等が注目され、重要な原料供給源になると考えられる。したがって従来インドネシアで行われていた活性炭の製造方法をチップダスト用に改良して、活性炭製造システムを作成しておくことも有意義と思われる。

7.4.1 活性炭の製造工程

活性炭の製造工程（図 7.11-別添）を以下に説明する。

1) 乾燥工程

炭化炉から発生する排ガスを燃焼炉で燃焼させ、その熱を乾燥装置に引いて材料を乾燥させる。乾燥にはロータリーキルンかまたは気流乾燥機を用いて、含水率が 15%程度になるまで熱風乾燥させる。

2) 破碎工程

ハンマータイプの破碎機を用いて、のこ屑状に粉碎する。これにより賦活反応が速まり、効率的な賦活が可能になる。

3) 炭化工程：

流動炭化炉または平炉で、のこ屑の原料を炭化する。平炉による炭化の場合は、幅 1.7m、奥行き 7m、高さ 1m の平炉を 120 基設置して炭化を行う。流動炭化炉の場合は 1.6m、高さ 6m の炉 2 基で炭化する。

4) 賦活工程

最も実績の多い巡回式移動炉を用いる。1 基で 32ton/月の粉末活性炭が製造できるので、この場合は 5 基を必要とする。

5) 粉碎工程

安価な中国製のリングロールミルを使用する。450kg/時の粉碎能力を備えたものが適している。

6) 混合および包装過程

品質の均一化を図るため、リボンミキサーを用いて活性炭を混合する。混合機の下にセットしたフレコンバッグまたは紙袋に活性炭を詰めて包装する。フレコンバッグは 1m^3 、350～400kgに、紙袋は通常1袋20kgになる。

参考に、主な活性炭製造装置、機器の仕様を表7.3に示した。

7.4.2 製造工程と物質収支

活性炭の製造工程における生産量を、図7.12(別添)に示した。

チップダストについては原料を破砕した素灰の収炭率が27%とすると、月441ton年間11ヶ月稼働すると4,840tonの活性炭原料が1工場から生産されることになる。活性炭となるのはその1/4であるため、約年1,200tonの活性炭が得られる。これらの量は現在の日本の活性炭消費量のほぼ10%に相当している。

粉末活性炭を製造する場合は、原料2,450ton/月が炭化によって441ton、原料のほぼ27%まで減少し、さらに賦活によって1/4に減少する。したがって単純炭化に比べて炭素が固定される量はかなり少なくなる。また製造過程で機械を必要とするため、エネルギーの消費量も大きく、おそらく炭素収支からみると効率の良い方法とは言えないだろう。

チップダストを原料として粉末活性炭を製造する際のコストと設備投資および工場組織については、活性炭製造が炭素固定に貢献しうるか否かを検討した上で詳細な調査が必要である。

7.4.3 活性炭製造のコストと収益

活性炭製造における設備、土地代の細目と費用を表7.4に示した。

また、コスト試算を表7.5に示した。

7.5 カーボン量と収益性の評価

7.5.1 製炭量のまとめ

表7.5に炭化に関する調査結果のまとめを示す。

1) 林地残材

アカシアマンガウムの8～10年生林を伐採すると残材がha当り14.06ton、年間伐採面積が10,750haであるから、ha当り年151,145ton出ることになる。含水率15%、収炭率

を 20%とすると年 25,692ton。製炭作業を年稼働 11 ヶ月にすると 23,551ton に達し、炭の炭素成分は平均 80%であるから、年 18,841ton-C。その炭が林地や農耕地に全て使用されたとすると、年間約 18,800ton の炭素が不活性化されることになる。

炭化方法としては地域住民が容易に取り組めるドラム缶式か平炉が適している。ドラム缶法の場合は 1 人で 20 缶扱い、年に 44ton の炭を出す。設備費用としては中古のドラム缶と多少の加工費、煉瓦などに限られており、コストは 3 ヶ月で 1,000 万円以下である。生産された炭を燃料として販売すれば、所要経費をまかなうことができる。

2) パルプ工場から出る廃材

a. バーク・ウッドロス

パルプ用材の樹皮と途中の工程で破損して混入する端材の量（バーク・ウッドロス）は月 3,933ton、年 47,1969ton になる。平炉で炭化すると収炭率が 25%となるので年 10,813ton（年稼働 11 ヶ月）。揺動炉で炭化すると高質炭が得られるが、収炭率は 20%となり年 8,611ton の炭が得られる。

炭化方法としては、設備費が安い平炉法と設備投資額の大きい揺動炉による方法がある。平炉法では平面積 3×7m の小さな炉を煉瓦で作し 170 基稼働させる。運搬機械その他を入れて設備費は約 70 百万円になる。労働者は 120 人として固定費が 24 百万円、変動費が 18 百万円となり、炭の売値の如何によって利益が上がる可能性がある。一方揺動炉は設備費に約 5 億円を要し、固定費と変動費の合計が 140 百万円になるが、製品の価格が高くなるため売値によっては収益性がある。

b. チップダスト

パルプ工場から出るチップダストは、月 1,470t-dm、年 17,640t-dm になる。チップダストは活性炭原料に適しており、良質な活性炭が得られる可能性が高い。活性炭の元になる素灰は月 397ton 得られるが、これを蒸気で賦活化すると月 102ton の活性炭になる。年稼働月数を 11 ヶ月とすると年 1,122ton が生産されることになる。

炭化方法としては、上と同様の平炉が適している。活性炭製造のためには賦活化する活性炭炉 5 基が必要となる。炭化炉は 28.68 百万円、賦活化のための炉は一式 121.4 百万円で約 150 百万円を必要とする。固定費、変動費をみて、年 79 百万円の支出が見込まれる。活性炭の生産と販売が軌道に乗れば、売値が 130.5 百万円と見積もられるので、かなりの収益を得ることができる。

もしこれらの粉炭や活性炭が大量に生産されるようになると、かなり均一な純度の高

いものが得られることとなり、工業的な炭素原料として役立つ場面も多くなると考えられる。

ただし活性炭生産では炭素の燃焼による減少率が高くなるので、炭素固定という点からみれば貢献度は低い。一方、用途が脱臭、脱色、吸着剤など環境関連の場面に関わっていることから、その環境に関する貢献度は大きい。また、木質の粉末活性炭は石炭由来のものに代わるバイオマス製品であり、その点でも利点がある。

この事業を通じて固定される炭素量、炭化事業と、炭の利用によって不活性化される炭素量、消費されるエネルギーと放出される CO₂ 量などの詳細についてはまだ完全なデータが収集されていないので、実証試験を加えることが必要である。

8章 インドネシアの電力事情

8.1 インドネシアの電力概要

8.1.1 電力開発の系統

インドネシアの電力開発は、一般的には2つの主要分野に分けられる。1つはジャワ島とバリ島をカバーする開発、すなわち“ジャワ - バリ島系統”であり、他方は“ジャワ - バリ島外系統”と呼ばれ、ジャワ島とバリ島以外のインドネシアの島々に広がる電力開発である。

これらの2系統は、互いに異なる特徴を持っている。ジャワ - バリ系統は、系統内の電力化された地域が高圧や超高圧の送電線を通じて相互接続された開発済みの系統であり、一方、ジャワ - バリ島外系統は、一般的には相互に未接続の多くの小さな電力系統から成り、それらの多くは独立した小さな隔離系統である。発展し始めたジャワ - バリ島外の電力系統はスマトラ島の電力系統で、島内の電力化された地域のほとんどが高圧送電線を通じて相互接続されつつある。

大容量発電所の多くはジャワ - バリ島系統に存在する。2000年まで、インドネシアの発電能力の約80%はジャワ - バリ島系統が供給している(表8.1)。

表 8.1 インドネシア発電所の許容電力 (MW)

電力系統	YEARS				
	1980	1985	1990	1995	2000
Java-Bali	1,850.2	4,110.8	6,248.8	10,731.1	17,016.0
Java-Bali 外	709.8	1,523.2	2,868.2	4,239.0	4,209.0
総計	2,560.0	5,634.0	9,117.0	14,970.1	21,225.0

Source: Data from National Electricity Master Plan 2001-2010

8.1.2 消費電力

インドネシアの電力消費は年々著しく増大してる（表 8.2）。2000 年の電力消費は約 79,165.3GWh で、10 年前には約 26260.4GWh であった 1990 年と比べて約 301.46%増加している。

表 8.2 インドネシアの電力消費実績 (GWh)

電力系統	YEARS				
	1980	1985	1990	1995	2000
Java-Bali	5,167.0	13,784.5	22,402.0	43,231.0	63,872.0
Java-Bali 外	1,393.1	3,365.7	3,858.4	10,221.8	15,293.3
総計	6,560.1	17,150.2	26,260.4	53,452.8	79,165.3

Source: Data from National Electricity Master Plan 2001-2010

インドネシア最大の電力消費者は産業部門である（表 8.3）。この部門は、1996 年以降、4.31%の年平均成長率により 2000 年には約 34,013GWh を記録した。次いで 9.47%の年平均成長率による民生部門が約 30,564GWh で続いている。産業部門においては、通貨危機の影響により 1997 年から 1998 年までの間、マイナス成長を記録したものの、経済復興に合わせてその後電力需要は再び上昇傾向を示した。

表 8.3 電力消費部門別の電力量 (GWh)

	YEARS				
	1996	1997	1998	1999	2000
民生	19,551	22,739	24,866	26,884	30,564
商業	6,226	7,250	8,667	9,330	10,576
産業	27,949	30,769	27,985	31,338	34,013
その他	3,206	3,554	3,743	3,780	4,012
総計	56,932	64,312	65,261	71,332	79,165

Source: PLN Annual Report 2000

8.1.3 発電電力量

2001年のPLNの総発電電力量は87,005GWhで、前年比で16%増加した。電源別にみると、ガス火力が42%、石炭火力25%、石油火力が17%、さらに水力が13%、地熱発電が4%であった。石油火力の比率が前年に26%であったものが17%に減少し、ガス火力の比率が一挙に伸びた。

表 8.4 PLN の発電と購買量 (GWh)

	YEAR					%
	1996	1997	1998	1999	2000	
PLN の発電						
水力	8,112	5,149	9,649	9,370	9,110	9.8
火力ディーゼル	5,349	6,527	5,850	5,799	6,355	6.8
火力ガスタービン	1,302	1,725	1,396	1,555	1,252	1.3
火力コンバインド	23,132	27,321	24,941	27,046	26,397	28.3
地熱	2,340	2,605	2,617	2,728	2,649	2.8
火力蒸気	25,354	31,473	30,512	33,999	38,429	41.2
小計	65,589	74,800	74,965	80,497	84,190	90.2
購入電力	1,748	1,820	2,939	4,279	9,135	9.8
総計	67,337	76,620	77,903	84,776	93,325	100

Source: Data from PLN Annual Report 2000 & PLN Corporate Plan 2001

8.1.4 国内電力における PLN の役割

電力、ガス、石炭をインドネシア全体に供給していた前身の国有電力公社の解散に伴い、PLN (Perusahaan Listrik Negara 国営電力会社) が 1965 年に創設された。PLN の当初の役割は、国の開発エージェントとして、主に経済発展を押し上げるためにインドネシアの人々に十分な電力を供給することであった。1972 年、この会社の位置付けは、電力供給が主要な役割の公益法人である公社に変更された。1990 年、政府はインドネシア領域内における発電事業認可の保持者として PLN を任命した。しかしながら、発電事業を民間部門に開放するという 1992 年の政府方針に沿い、1994 年の政府法令 No. 23 に基づいて PLN の公社としての地位は 100%政府所有の株式会社に変更された。したがって、その時点までに PLN はもはやインドネシアにおける唯一の発電事業会社ではなくなったものの、電力の送電事業と配電事業においてはまだ独占状態を維持している。

政府は効率改善のためと発電事業における将来の競争を期待するため、1995年10月に PLN は2つの系列会社を設立した。しかし、市場ではこれら新系列会社からの電力供給は、依然として PLN の供給と見なされている。1992年以降の発電事業は民間部門に広く開かれてきたが、特に一般消費のための主要電力については、依然として PLN 発電所から供給され、国内電力における PLN の役割はまだ支配的である。2000年の PLN が外部からの電力購入は国内電力生産の9.8% (9,135GWh) でしかない (表 8.4)。独立系発電事業者 (IPP) は、運用開始した後の2001年にはこの数字は急上昇してきたことから、2001年に PLN により購入される全体の電力は、全国内需要の15.32%に達すると推測している (表 8.4)。

8.1.5 独立系発電業者 (IPP) の開発

先の表 8.2 が示すように、電力需要は過去20年の間に激増し、1990年の26,260.4GWhから1995年の53,452.8GWhまで、5年で103.54%も増加した。将来の需要を満たすための発電所建設には大きな投資を必要とし、財政の逼迫しているインドネシア政府がそれを独自に支援することは極めて困難である。国際的な融資機関 (世界銀行、アジア開発銀行、日本国際協力銀行などの) のソフト・ローンに依存してきたが、それだけでなく民間部門の参入が考えられている。そのひとつとして IPP の導入が試みられている。

IPP に課される電力価格は、「買い取るか、さもなければ支払うべし」というような契約条件であったため、統一的基準はなかった。PLN によって設定された kWh 当たりの販売価格が US\$7.00 (1997年交換レート US\$1=Rp.2,300) であった時、IPP の平均契約価格は US\$6.35 であったが、それでも PLN は十分ではないが利益を上げることが可能であろう。1997年中頃に起こった経済危機は電力の売値に影響した。現実のルピアを US\$に換算した場合の顧客への売値は著しく低下した。結果として、「買い取るか、さもなければ支払うべし」という条件では、IPP からの売値 (US\$立て) は PLN にとって大きな負担になった。その結果、契約をレビューすることを強制されるインドネシア政府は、いくつかの IPP との購入契約を中断することになった。1998年1月、政府は、IPP プロジェクトを含む政府プロジェクトのうち、継続するか、見直すか、中断するかを示したリストを含む大統領令 No. 5 を発令した。

8.1.6 自家発電の開発

下の表 8.5 に示した統計によると、2000 年の自家発電の容量は約 13,946MW である。これは、同年における PLN 所有発電所の発電能力 21,225MW と比較するならば、国内電力にとって極めて大きな支えである。しかしながら、実のところ、それら発電所のほとんどは PLN の配電線からの供給が得られない場合の予備設備である。PLN からの約 7,138MW は、この種の顧客に割り当てられてきた。最近、特にジャワ - バリ島系統で発生する電力不足を考慮し、PLN は特にピーク時間について自家発電に対し、これらの発電所を稼働させるよう訴えている。また、ピーク時間にそれらの設備を稼働させることを自家発電に強いるため、料金差別化策が PLN により導入された。

表 8.5 自家発電の許容電力 in 2000

Area	自家発電数			許容電力 (MW)			PLN への 接続分
	専用	予備	Total	専用	予備	Total	
Java 以外	2,304	2,807	5,111	3,977	2,570	6,548	1,135
Java	1,240	6,694	7,645	1,642	5,756	7,398	6,002
Total	3,544	9,501	12,756	5,619	8,327	13,946	7,138

Source: PLN Statistics 2000

さらに、いくつかの自家発電は全国電力網に供給できる余剰電力を持っている。2000 年、PLN は約 73.09GWh を自家発電から購入したが、この数字は 2001 年には約 229.23GWh に急増した。

8.1.7 地方の電力開発

地方の電力開発は、インドネシアの人口の最大部分を構成する地方共同体の繁栄を促進する社会開発の一形態である。地方の電源開発が政府の大きな注意を引く必要があるのはそのためである。下の表 8.6 に示すように、インドネシア国内にある 60,049 の村のうち、2001 年 10 月までに電化された村の総数は 49,452 (82.35%) である。2010 年にはこの比率が 100% になる目標が立てられている。

政府の財政支援が非常に限られている状況でこの目標を達成するために、政府は社会電力基金を募る社会電力開発機構を設立するであろう。この基金は発電所の所有者から募り、地方の電力開発、特に隔離された村のために使われることになるであろう。国の開発エージェントとしての PLN は、電化された村における顧客数を増大させ、既存の送電線と配電線の近くにある未電化の村々へ電化を拡大することにより、地方の電力開発を進めるであろう。

表 8.6 地方の電化率 (October 2001)

Area	Total Villages	Villages Electrified	
		Villages	(%)
Java-Bali	22,708	22,327	98.32
Outside Java-Bali	37,341	27,125	72.64
Total Indonesia	60,049	49,452	82.35

Source: Data from PLN Monthly Rural Electricity Report

8.1.8 バイオマス電力の潜在資源

インドネシアのバイオマス電力は小容量で、数も限られている。インドネシアのバイオマス電力を開発するために使えるエネルギーの潜在量は大きいですが、まだ開発されていない。インドネシアのバイオマス電力の総潜在エネルギー量は、下の表 8.7 によると 4,9541MW で、このうち 27.49% (13,623MW) がジャワ - バリ島地域に存在する。

この種の発電所が PLN の事業優先リストに挙げられていないのは、燃料調整に必要な追加的な設備のために高い費用がとなるからである。しかし、最近、オイル、ガス、石炭の価格が激増したため、バイオマス電力の導入は近い将来現実的になるかもしれない。

表 8.7 インドネシアの潜在的バイオマスエネルギーの予測

電力系統	総ポテンシャル (MW)
Java-Bali	13,623.75
Outside Java-Bali	35,917.90
Total Indonesia	49,541.65

Source: Data from National Electricity General Plan 2001-2010

8.1.9 電力規制改革

政府は、既存の法律 No. 15/1985 に取って代わるべき新電力法を付議するため、最近議会に草案を提出した。草案は基本的に、インドネシアの電力供給業に競争を導入する政府の意図を含んでいる。価格設定に関連し、競争が起こり得る地域ではそれぞれの発電業者からの電力購入価格同様、電力料金表の設定が価格を監視する規制機構との競争に基づくことを意味している。まだ競争が起こらない地域では、それぞれの州政府が電力料金を設定する責任を持たせている。したがって、それはインドネシア全国で均一ではない電力料金表の可能性へ道を開くであろう。

一方、電力料金は Rp.165.43 から Rp.279.67 まで上昇したが、1997 年における大幅なルピア切下げによって米ドル建てでは実際に減少した。この状況は PLN の財政問題に悪影響を与えた。PLN の累積損失を処理するために政府と議会は、基本電力料金を 2002 年 1 月から引き上げることに合意したが、国民の生活を直撃するだけに、大きな反発を招いている。

現在、草案をめくり議会でまだ熱い議論がなされている。非政府組織、企業経営者、外国投資家、政府高官および PLN 自身の労働組合でさえ、異なる立場から本草案の内容を批評してきた。したがって、草案の大幅な修正は十分起こり得よう。

8.2 スマトラ島の電力

8.2.1 スマトラ島における PLN の組織

スマトラ島の PLN は、支社とその下の支部、2 つの発電送電事務所、および 2 つの事業本部を統括する 4 つの地域事務所を持っている。現在、スマトラ島には 2 つの電力相互接続システムがあり、スマトラ島の北部および南部をカバーしているが、それぞれの発電送電事務所はこれら相互接続システムに従って担当地区を受け持っている。

事業本部は、支所を含む発電所や高圧送電線事業の計画、調達、実行に責任を持っている。スマトラ島にある事業本部の担当地域は 2 つに分けられ、1 つは北スマトラと Aceh、もう 1 つはスマトラ島の残りの地域を担当している。

8.2.2 発電と送電の系統

スマトラ島の発電と送電の系統は、4つの地域をカバーしている：

- ・地域 I (Aceh 州)
- ・地域 II (北スマトラ州)
- ・地域 III (西スマトラ州と Riau 州)
- ・地域 IV (南スマトラ、Jambi、Bengkulu、Lampung の各州)

スマトラ島南部の発電送電系統が2つの地域、すなわち地域 III (西スマトラと Riau)、および地域 IV (スマトラ島南部) をカバーしている。地域 IV が5州 (南スマトラ、Jambi、Bengkulu、Lampung および Bangka-Belitung) を担当するのに対し、地域 III は2州 (西スマトラと Riau) を担当している。スマトラ島北部とは異なり、地域 III と地域 IV を担当する南部地域は依然として分離されている。

8.2.3 需要予測 (2002 – 2010)

スマトラ島地域の電力消費は最近20年間に相当な増加を記録した。

1980年の地域 IV (南スマトラ、Jambi、Bengkulu、Lampung、Bangka-Belitung) の電力消費は420.5GWhで、2000年には3,646GWhに増大した。消費量は2005年には5,612.2GWh、2010年には9,113.3GWhに達すると予測されている。

8.3 南スマトラの電力

8.3.1 南スマトラにおける PLN の組織

スマトラ島南部 PLN は、PT. PLN (Persero) 地域 IV の管理下にあり、南スマトラ、Jambi、Lampung、Bengkulu および Bangka-Belitung の州をカバーしている。スマトラ島南部の発電送電事業は、Southern Sumatra PT. PLN (Persero) 発電送電事務所の管理下にある。

スマトラ島南部には Palembang に1つの事業本部がある。事業本部は、西スマトラ、Riau、Jambi、南スマトラ、Bengkulu、Lampung、および Bangka-Belitung の地域をカバーしている。

スマトラ島南部における発電と送電の系統は、2つの地域、すなわち地域 III (西スマトラと Riau) および地域 IV (スマトラ島南部) をカバーしている。

8.3.2 スマトラ島南部の主要な発電所

南スマトラと Lampung の系統は、主要な発電所である Bukit Asam 蒸気力発電所 (260MW)、Kramasan 蒸気力発電所 (70MW) および Besai 水力発電所 (90MW) を伴って、150kV 高圧送電線を通じて相互接続されている。

地域 IV の電力系統内にはいくつかの分離系統もある。それらは Manna 系統 (Bengkulu)、Muara Bungo 系統 (Jambi)、Bangka 島系統、および Belitung 島系統であり、それぞれ 20kV の中圧送電線によりディーゼル発電所が支えている。

8.3.3 需給予想 (2002 - 2010)

電力需要の平均成長率は、2002 年から 2010 年の期間に対し約 10.8% と予測される。2002 年の需要予測 3,114GWh から、2005 年には 4,298GWh、2010 年には 7,386GWh に達するものと予測される。この地域の電力負荷ピークは、2005 年に 1,032MW、2010 年には 1,758MW に達するものと予測される。

8.3.4 独立系発電業者の将来性

地域 IV (スマトラ島南部) の電力系統は概して小規模な分離系統に分散していることから、この地域における今後 5 年間の IPP 開設の見込みはまだそれほど明るいようには見えない。

8.3.5 自家発電の参加

PLN は、スマトラ島南部地域市場の電力需要を満たすため、スマトラ島南部のいくつかの自家発電から定期的に電力を購入している。2000 年、PLN は約 10,814GWh を購入したが、2001 年にはスマトラ島南部の自家発電からの購入量は約 142,972GWh に達する見通しである。

小規模産業やホテルなど南スマトラにおける他の小さな自家発電の中には、余剰電力を PLN に供給できる大型の自家発電がいくつかある： PT. Caltex Pacific、PT. Pertamina、PT. Pusri、PT. Timah、PT. RPE

8.3.6 地方電化

南スマトラでの地方部の電化率は、2001年10月までに73.94%に達し、電化された村の総数は4,701となった(表8.8)。

2010年までに南スマトラは、2,475村のうち、計2,370村に当たる約96%の地方電化率を達成する目標を掲げている。Bengkuluは、1,051村のうち、計1,013村に当たる約96%の地方電化率の目標を持っている。JambiとLampungは、95%地方電化率、すなわち、1,021村中965村および1,811村中1,021村、それぞれ電化する目標である。

表 8.8 スマトラ南部の村落電化

州	村落数	電化された村落数	
		Up to Oct 2001	(%)
南スマトラ	2,475	1,935	78.18
ジャンビ	1,021	745	72.97
ランブン	1,811	1,384	76.42
ベンクルー	1,051	852	81.06
Total	6,358	4,701	73.94

*) Bangka-Belitung 区を含む

Source: Data from PLN Monthly Rural Electricity Report

8.3.7 バイオマス電力の将来性

南スマトラのバイオマスエネルギーの潜在資源は大きいものの、この地域におけるバイオマス電力はまだ開発されていない。その理由は、生み出されるエネルギーが相対的に小さいのに対し、バイオマスエネルギー工場を開発するためには大きい投資が必要となるからである。これまで、この地域においてバイオマス発電所を開発する計画はない。

表 8.9 スマトラ南部の潜在的バイオマスエネルギー

州	総ポテンシャル(MW)
Jambi	1,033.17
Bengkulu	335.34
南スマトラ (Bangka-Belitung 含む)	1,830.39
ランブン	1,774.48

Total	4,973.38
-------	----------

Source: Data from National Electricity General Plan 2001-2010

9章 本事業でのバイオマス発電事業の可能性

現行のパルプ工場は自家発電によって、自社工場施設および自社従業員の居住区に電気を供給している。自家発電はタービン発電機で、動力となる蒸気は2つの性質の異なるボイラから出力している。リカバリーボイラとパワーボイラである。図9.1(別添)にバイオマス廃物と発電機・動力の関係図を示した。

リカバリーボイラはパルプ生産過程からの廃液を処理して、液体燃焼させて蒸気を出させている。パワーボイラは先に説明したバイオマス廃物を固形燃焼させて蒸気を出させている。蒸気出力としてはリカバリーボイラの方がパワーボイラよりも大きい。

9.1 リカバリーボイラ

9.1.1 再利用工程は以下のとおりである。

工程は以下のとおりである。

1) リカバリーボイラー

クラフトパルプは原料を苛性ソーダ(NaOH)と硫化ソーダ(NaS)の混合液で蒸解すると得られる強度の高いパルプである。通常は、一度蒸解に用いた廃液(黒液)を、新しい蒸解液(白液)に混ぜて使用する。

この過程で出た黒液(パルプ廃液)をリカバリーボイラで燃焼し、蒸気・電力を得る。このときのエネルギーでパルプ化工程の必要エネルギーのほとんどをまかなう。黒液の成分は薬液からのNa、S等と、木材からのリグニン・セルロースなどの成分からなる化合・混合物といえる。燃焼後にさらに製造に効果的に利用されるので、若干、以下にその後の再利用工程を概説する。

2) 苛性化工程

燃焼した廃液(黒液)は炭酸ソーダと硫化ソーダを主成分とした物質に変化し、この物質を水で希釈した液体を「緑液」と呼んでいる。

緑液に生石灰を投入することで、



の反応をさせる。

炭酸カルシウムを分離した液体を「白液」とよび、木材をパルプ化するときの薬品として使用する。炭酸カルシウムは一般にロータリキルンで燃焼し、生石灰を得てこれを再利用する。

3) 蒸解工程

木材チップと苛性化工程で作られた白液を混合し、またリカバリーボイラーで作られた蒸気で加熱することでパルプ化する。パルプを分離した液体は希黒液とよび、濃縮後リカバリーボイラーの燃料として使用される。

パルプは洗浄され、漂白工程で所定の白色度まで晒され、漂白しパルプ製品化工程にはいる。

9.1.2 リカバリーボイラの仕様

固形分処理量として 2,120 ton/日：(絶乾固形分)、濃度 72%、絶乾高位
発熱量：3,490 Kcal/kg
蒸気発生量：345 T/H (63 bar/455)
ボイラー効率：68.2%

9.2 パワーボイラ

9.2.1 仕様

形式：単胴流動床式(ボイラー効率 89.6%) Kaerner, tampere (フィンランド製)
燃料：バーク 発熱量(絶乾高位) 4,586 kcal/kg (19.2MJ/kg)
スラッジ 発熱量(絶乾高位) 4,057 kcal/kg (17.0MJ/kg)
軽油 発熱量(絶乾高位) 10,175 kcal/kg (42.6MJ/kg)
蒸気：圧力/温度 63 Bar/445
蒸発量 バーク+スラッジ+軽油 169.2 T/H(MCR)
バーク+スラッジ 118.8 T/H
軽油 50.4 T/H
火炉：寸法 幅 8.2 m x 長さ 9.4 m x 高さ 25.4 m
火炉容積 1,770 m³
煙突 高さ 75 m

ボイラ投入前にバークの乾燥処理は行っていない。スラッジとは排水処理設備（活性汚泥設備）の余剰汚泥ですが、現在は燃焼していない。それは、バークだけでも余っており、それを燃焼しても現状では電力余剰となる。

9.3 現行の発電施設と需給量

表9.1 パワーボイラとリカバリーボイラの月別蒸気量と発電量

	2001年	May	Jun	Jul	Augst	Sep	Oct	Nov	Dec	平均
パワーボイラ										
蒸気量	千ton	65.01	59.30	63.58	61.50	57.78	65.01	60.72	70.59	62.90
燃料										
-木質廃材	bd	9,950	8,954	9,866	9,391	8,658	9,190	9,874	12,514	9,800
-軽油	kl	92	73	11	21	51	179	140	109	85
-スラッジ	bd	0	0	0	0	0	0	0	0	0
リカバリーボイラ										
蒸気量	千ton	215.00	213.74	231.36	229.76	209.01	225.44	179.39	224.59	216.00
蒸気量の合計	千ton	280.01	273.04	294.94	291.26	266.79	290.45	240.11	295.18	279.00
パワーボイラの率	%	23.2	21.7	21.6	21.1	21.7	22.4	25.3	23.9	22.6
タービン発電機										
電力量	MWh	34,284	35,139	36,937	36,771	33,658	37,408	29,874	37,199	35,159

表9.2 ボイラの蒸気出力の効率

		May	Jun	Jul	Augst	Sep	Oct	Nov	Dec	平均
パワーボイラ										
月あたり	千ton/月	65.01	59.34	63.58	61.50	57.78	65.01	60.72	70.59	62.90
時間当たり	ton/時	87.4	82.4	85.5	82.7	80.3	87.4	84.3	94.9	86
出力効率	%	51.7	48.7	50.5	48.9	47.5	51.7	49.8	56.1	50.6
リカバリーボイラ										
月あたり	千ton/月	215.00	213.74	231.36	229.76	209.01	225.44	179.39	224.59	216.00
時間当たり	ton/時	289.0	296.9	311.0	308.8	290.3	303.0	249.2	301.9	294
出力効率	%	83.8	86.1	90.1	89.5	84.1	87.8	72.2	87.5	85.1

設計蒸気発生量：パワーボイラ169.2 ton/時、リカバリーボイラ345 ton/時

当工場は蒸気の2基のボイラーからの蒸気を使用して1基のタービン発電機を回している。リカバリーボイラーとパワーボイラーの月別蒸気発生量と電力量を表9.1に示した。

バイオマス廃物を燃焼したパワーボイラーの蒸気出力は、全体の平均22.6%でリカバリーボイラーが蒸気出力の大半を占めることがわかる。

表9.2に蒸気出力の効率を示した。設計蒸気出力(最大出力)は、パワーボイラーが169.2 ton/時、リカバリーボイラーが345 ton/時であるから、それぞれの効率は平均で50.6%と85.1%であった。全体では、設計能力の約68%の蒸気を出力していることになる。

リカバリーボイラーの平均出力85.1%は、ほぼフル操業とって良い数字とみなせるので、余力はパワーボイラーにあるといえる。

一方、発電機は、平均して35,159 MWhの電力量である。

$$35,159 \text{ MWh} \div 31 \text{ 日} \div 24 \text{ 時間/日} = 47.3 \text{ MW}$$

発電機の設計出力は71 MWなので、まだ余力はあることがわかる。

9.3 化石燃料の代替エネルギー換算

まず、現行のバイオマス廃物の燃焼を、化石燃料の代替エネルギーとして考えてみる。

タービン発電機の発電量が平均35,159 MWhであり、蒸気発生量の割合が、バイオマス廃物を消費するパワーボイラーが22.6%である(表9.1)。従って、パワーボイラーによる電力量の割合は、

$$35,159 \text{ MWh} \times 0.226 = 7,946 \text{ MWh}$$

と推定される。

表9.3 化石燃料のCO2原単位とkWh当たりの炭素削減量

化石燃料	熱効率 %	CO2原単位 kg-C/1000kcal	炭素削減量 kg-C/kWh
1 石炭火力	40	1.0344	0.2240
2 石油火力	40	0.8180	0.1759
3 LNG火力	40	0.5639	0.1212
4 LNGコンバインド	50	0.5639	0.0970

石炭火力による CO2 原単位は、1.0344 kg-C/10⁴kcal であることから、kWh あたりの炭素(C)削減量は、0.224 kg-C/kWh である。

$$7,946 \text{ MWh} \times 1000 \times 0.224 \text{ kg-C/kWh} = 1,779,904 \text{ kg-C}$$

$$1,780 \text{ t-C} \times 44/12 = 6,527 \text{ t-CO}_2$$

従って、現行のバイオマス燃焼によって 6,527 t-CO₂ が代替されたといえる。

表9.4 バイオマス発電によるCO₂削減効果

	バイオマス 電力量 kWh	炭素削減 単位数 kg-C/kWh	炭素削減量 t-C	CO ₂ 削減量 t-CO ₂
石炭火力	7,946	0.2240	1,780	6,527
石油火力	7,946	0.1759	1,398	5,126
LNG火力	7,946	0.1212	963	3,531
LNGコンバインド	7,946	0.0970	771	2,827

10章 植林、農業への炭の適用および在来樹種による修復植林の可能性

10.1 産業植林地への炭の適用試験計画の立案

ムシ社が経営する産業植林地はアカシア マンギユウムの単純一斉林である。約19万ヘクタールある人工林を毎年15,000ヘクタールずつ伐採し、その跡地に品種改良された苗を順次植栽する。伐期は8年、もしくはそれ以下を目指しているので、将来は土壌中の養分が消耗し、表土が流亡する恐れがあり、ムシ社でもそれを強く懸念している。

アカシア マンギユウムはマメ科に属している樹木であるため、根に根粒菌が共生して空中窒素を固定し、同時にVA菌根菌が共生してリンなどの養分、とくにミネラルの吸収をたすけている。これらのマメ科に共生する微生物はいずれも炭を好む性質があるため、栽培土壌に炭を加えると、根粒や菌根の形成がよくなることが知られている。アカシア マンギユウムについても予備試験の結果から、粉碎した木炭を林内の地表にまくと、数ヵ月後にはアカシアの根が炭の中に増え、根粒の形成も促進されたことがわかった。したがって、地上部の成長に対する効果はまだ確認されていないが、炭の効果は大いに期待できる。

産業植林を行う際に木炭を使用する方法について、植林作業の各段階に応じた方法の概略を以下にのべる。

まず、準備段階として施用するための炭資材を作る工程がある。産業植林地内で製炭を行った場合は太いものを燃料炭として除き、枝や樹皮などの部分を粉碎する。木炭の粒子の大きさは径二センチ以下とするが、微粉末でない限り、大きさにさほどこだわらなければならない。燐酸が消耗しやすいので、土壌分析の結果をみて、水溶液にして補給する。パルプ工場から出る樹皮を原料とした炭を施用する場合は、粗いものを砕いた後、そのまま用いる。

- 1) 育苗：通常、アカシアの苗は小型のプラスチックポットで育てられる。培土には砂質土壌、ピートモス、肥料などが使われているが、これに粉炭を加える。粉炭の量はボリュームで培土の5%とする。10%をこえると、未炭化物が混じっている場合には害が出る恐れがある。この炭入り培土をポットにつめて、催芽させた種子を植える。根粒の形成は播種後、数週間で始まり、順調に根粒が増えると、次第に葉の色が濃くなる。

- 2) 植栽時：アカシアの苗を林地に植える際に植え穴に粉炭を施用する。少量の化学肥料と混合してもよいが、通常は不要。植え穴の底などに塊にならないよう、ばらまいておく。施用量はひとつの穴あたり50～100グラム程度とする。植え穴が大きい場合は埋め戻す土にばらまいておくとよい。過剰に与えると、根腐されを起こすこともあるので注意。
- 3) 林地への施用：アカシア マンギウムは成長がはやく、植栽後一年で樹高が2、3メートルにもなる。したがって、植栽後、
, 2年目に樹間に落ちた落葉を軽く除きながら、厚さ5センチ、幅一メートルを目安として粉炭をベルト状に施用する。一ヵ月後には根が繁茂し、根粒ができ始めるので、おそらく二年目には地上部にも効果が出ると思われる。炭が大量にある場合は毎年炭のベルトの幅を広げてよいが、毎年施用する必要はない。これまでの実験結果から炭の効果はほぼ三年持続するとされている。伐採した二代目林では炭の効果が消滅していると思われるので、先の方法を繰り返す。二代目以降にも炭の施用を続ける場合はできるだけ前に用いた炭の上に土をかけるようにする。これによって林地の養分の消耗と炭の風化を防ぎ、長期間炭素を封じ込めることができる。

実際の炭の使用量はこれらの実験ないしは事業を実施したうえで、改めて算出するのが望ましい。

10.2 農作物への炭の施用試験計画の立案

籾殻くん炭や木灰が作物の成長や病虫害の防止に役立つことは古くからよく知られていた。一方、農作物への木炭の施用試験は1980年に当時の国立林業試験場で始まり、その後多くの試験研究機関で効果が確認され、炭または炭を加工した製品が市販されるようになった。現在では木炭などの炭化物は土壌改良資材として、わが国では正式に認可されており、木炭などの炭化物を農作物に用いた例も多く、これらの資材は有機農業の拡大にともなって、徐々に使用量が増加し始めている。したがって、現地ではアカシア-マンギウムの木炭もしくは樹皮炭の施用がインドネシアの作物に効果的か、否かを定めることのみを目的として施用試験を行う。農作物への炭の施用に関する予備試験はすでにムシ社が現地住民と共同で取り組んでおり、彼らとの共同体制をつくるのがのぞましい。

また、1990年以来、国際協力事業団のダイズ栽培技術改良プロジェクトで、籾殻くん炭を用いてダイズとトウモロコシを輪作する試験をおこない、炭と石灰の混用が作物の成長に大きな効果をもたらすことが判明した。その後、この方法はインドネシアの各地に広がり、現在では堆肥に炭をまぜて用いたり、炭で作物を栽培する例がふえてきたという。

さらに、近年新しい炭を耕地に施用すると、炭の細孔のなかに非共生性の空中窒素固定菌が増殖し、窒素が集積され、空気と水を十分ふくんだ炭によってきた根がそれを吸収して成長することが知られるようになった。これは元来熱帯地方の土壤に空中窒素固定菌が多いために起こる現象のようである。焼畑農業が熱帯地方で成り立つ背景には炭と微生物の絶妙の組み合わせがあるように見える。

対象となるムシ社が管理する地域は以前焼畑として使われていたところで、全体に土壤は疲弊した状態にある。土壤表層の有機物は少なく、母材が粘土質の多い洪積土壤であるため、酸性で透水性がわるく、生産性もかなり低いと思われた。そのため多孔質でアルカリ性の強い炭を土壤に加えると、土壤の理化学性を大きく改良することができると思われた。炭の施用によって収穫量の増加が期待できるだけでなく、土壤病害の防除や作物の品質の向上も期待できる。

- 1) 対象作物：対象とする作物は現地で通常栽培されているもの、陸稲、キャッサバ、サトウキビ、トウモロコシ、マメ類、トウガラシなどとする。換金性の高い高価格で取引されるものでないと、住民の関心を引かないので、作物の選択は基本的に現地住民が選んだ物とする。
- 2) 施用方法と施用量：炭を農業用として用いる時には林業の場合よりも施肥効果について考えておく必要がある。炭には肥料成分がほとんど含まれていないので、単体で与えても多くの場合効果がみえてこない。したがって、通常は使用する前に少量の燐酸肥料か、化成肥料を0.1～1.0%（重量比）加える。これによって化学肥料の使用量が削減でき、肥料成分が済みに吸着されるために、効率的に根に吸収されることになる。この肥料は同時にまくのではなく、使用する数日前に水に溶かして炭にふりかけ、よく混合して用いる。

施用方法は畝の表面に必要量をばらまいてすきこむ全層施用と、植物の定植時に植え穴へ施用する植え穴施用とがある。いずれも作物の種類と苗の状態をみて、必要量をきめる。全層施用の場合は通常10アールあたり1～2

トンをまく。植え穴施用の場合はさらに施用量が少なくなる。肥料を含んでも炭は溶解するものではないので、根元や地表にまいても効果がでない。根とよく接触するように土にすきこむとよい。

3) 栽培管理と収量の測定

現地の栽培管理はムシ社がおこない、可能な限り住民の参加をもとめる。栽培途中の病虫害の発生状態や生育状態についても記録する。収量測定時には収穫物のほか、地上部や地価部の成長量についても測定をおこなう。

10.3 天然林再生技術

天然林の優先樹種であるフタバガキの育苗植林技術については1980年代後半から研究を開始し、1991年からはインドネシアのガジャマダ大学 林学部と共同研究をおこない、スマトラジャンビ演習林で実証試験を実施してきた。この間、菌根菌、ニセシヨウロの一種がフタバガキの苗の生長を促すという事実が明らかになり、その孢子の接種方法と苗の繁殖法を完成させることができた。また、二次林の生態と伐採跡の植生の変化を調査し、天然林への再生過程の解析をおこなった。

実証試験では菌根菌を接種した苗のほうが成長良好だけでなく、生存率もかなり高くなることがわかった。また、フタバガキ科の植物の中には直射を好まないものも多いため、林内に空間をつくって植栽するラインプランティングやギャッププランティングなど、いくつかの方法を試みた。その結果、空間の大きさによって木の成長が異なることや適合できる樹種と適合しないものがあるなど、造林計画を立てる上で有用な知見がえられた。また、裸地に植林を行うためには前もって日陰を作る植物を植えておく必要があるため、マメ科樹種や灌木類との混植試験もおこなった。その結果、フタバガキの樹種によってはアカシアとの混植に耐えるものもあるが、在来種の灌木を好むものや二次林の林内を好むものなど、きわめて変化にとんだ反応を示すことがわかった。

フタバガキが数年に一度しか開花しないことから、フタバガキの種子が通常は入手しにくく、挿し木苗によって植林を行おうとする試みがある。この分野では早くからコマツがインドネシアのボゴールに研究員を派遣して開発をすすめ、よい成果をあげてきた。そこではすでに数年前から挿し木苗の大量生産にかかっており、現在、ムシ社のアカシア マンギウムの伐採跡地で小面積の植栽試験を実施してい

る。

一方、ガジヤマダ大学のジャンビ演習林では実生苗を生産しており、外部に供給する体制をとり始めている。したがって、双方から苗を供給し、植栽試験をおこなうことができる。とくに挿し木苗はクローニングされているため、将来のリスクが大きいともいわれており、同一条件下で実生苗と比較できることにはそれなりの意義がある。

ムシ社の植林地内で天然林再生試験を行う場合は伐採跡に苗を植えるのが主になるため、アカシア-マンギウムとの混植に近い状態になる。アカシア-マンギウムはきわめて繁殖力の強い樹種で、オーストラリア原産の帰化植物でもあるため、伐採すると落ちた種子がすぐ発芽し、天然下種によってたちまちのうちにアカシア林に戻ろうとする。そのため、フタバガキとの競争が激しく、天然林再生のためには強度の下刈りをするなど、人手を必要とする恐れがある。この試験はこれまでに例がないだけに、意義のあるものと思われる。パルプ生産のコストからみて、伐採地と工場の距離が近いほど経済的であるため、遠隔地のアカシア林を天然林に戻したい意向もあって、今後は天然林再生が進むものと思われる。現にインドネシア政府は従来の産業造林推進政策から天然林再生と植林、なかでもフタバガキの植林を奨励する政策に転換し始めており、多くの林業会社が追随するものと思われる。

11章 事業の立案

11.1 事業内容

当初、CDMのための調査目標としてあげた「天然林再生を図りながら、産業植林をおこない、用材やパルプを生産し、林地や工場から出る残廃材をすべて発電や炭化に利用し、炭化物を林地や耕地へ還元することによって、CO₂の固定と不活性化を図る」という構想は現在、南スマトラで調査対象としているケースとほとんど合致しており、炭化にかかわる分野をたせば、ほぼ完成の域に達する。

植林と人工林の伐採事業はすでに1991年からムシ社で実行にうつされており、パルプ生産もタンジュンエニム社によって2000年から軌道に乗っている。したがって、これらの領域に触れる必要はなく、もし可能なら、現在おこなっている樹皮を燃料としたバイオマス発電を組み込んだ付随的な小規模のCO₂固定事業として成立させるのが望ましい。事業化する段階でバイオマス発電の取り扱いが問題になると思われるが、炭素排出権にかかわる事情が生じた場合を想定すると、炭化事業と発電を同時に取り扱っておいたほうが有利であろう。

CDM事業として取り上げる場合は植林とパルプ生産を含んだ総合的な事業として、ムシ社とタンジュンエニム社を傘下にもつバリトパシフィックグループが主体となって、この事業を推進することも考えられる。炭化事業やバイオマス発電も植林事業やパルプ生産がなければ成り立たないことから事業全体として、炭素収支やエネルギー消費、経済収支などについても十分調査し、数量的に把握しておく必要がある。

1) 植林地における炭化事業

ムシ社が木材を伐採する際に出るアカシヤマンギユウムの林地残材、伐採木の総量の15～20%、を集材して炭化する。現地住民の参加をもとめて実施するため、炭化方法はコストのかからない伏せ焼き法か、ドラム缶法、コルゲート管を使った移動式炭化炉を用いる方法またはレンガでつくる方形炉など複数のものを提案し、検討中である。現地に合った方法を選び、住民に炭化技術を教える期間と体制が必要になる。これらの住民参加事業についてはムシ社が植林事業ですでに経験をもっており、炭化事業についても担当することになる。

生産された炭については燃料として使用できるものと、粉碎して耕地や林地に施

用するものに選別する。燃料となるものについては製品の品質管理をおこない、市場価値の高いものを出荷できるように指導する。原材料がアカシア マンギユウム の材だけであるため、雑木を原料としたものよりも品質は安定すると予想される。ただし、伝統的な伏せ焼き法では未炭化物が混じる恐れがあるので、炭化技術が問題になる。

燃料炭以外の炭化物は粉碎して、径 1 ~ 2 c m 程度の粉炭にする。先に述べたように、これに肥料を加えて加工し、耕地や林地に散布する。その方法についてはすでにムシ社が試験を始めており、技術的なアドバイスをするだけで進めることができる。現地の農林業にかかわる技術的な問題については、できるだけインドネシア側にゆだねたほうがよい。

2) パルプ工場における炭化事業

タンジュンエニム社のパルプ生産工場からは、年間乾燥重量にして約 18 万トンの樹皮やウッドウエスト、チップダストなどの廃材がでてくる。このうち 11 万トンは発電用の燃料として使われており、残り 7 万トンは廃棄物としてすてられていた。しかし、操業が軌道に乗るにつれて、樹皮等がたまり、火災の危険があるなど問題となっていたため、同社でもすでに炭化による処分方法を検討していたという。

現在、これらの廃棄物の総量は 18 万トン近くに達しており、早急に対応する必要性に迫られている。そのため本年度内に炭化のための小規模な試験炉を建設し、炭化方法と炭化物の性状の検討と用途開発のための試験を先行させることとした。これらの予備的な試験と検討は関連する企業の協力でおこなわれる。

炭化事業を実施する場合、原材料の種類とできてくる製品およびその市場価値によって設備や規模が大きく異なる。

() 樹皮とウッドウエストを原料とした場合

これらの材料を低コストで炭化しようとする場合は平炉が最適である。この方法は古くから活性炭の原料となる素灰を作るために使われており、インドネシアの各地に工場がある。構造は先にのべたように単純で、製炭技術も高度な知識を必要としないので、どこでも取り組むことができる。ただし、火災の危険性が高く、粉塵や煙が発生するため、パルプ工場から一定の距離を置いたところに設置する必要がある。設備投資は先述のようにきわめて安い。

この工場から発生する材料をすべて炭化することは販路や用途からみても不可能

であるため、事業規模については使用実績に応じて決めることにならざるをえない。当面は20～30基の炉から出発することになるだろう。

生産された炭については、ウッドウエストからできた大きい木炭を燃料用として除き、樹皮から出たものは粉碎して粉炭とする。木炭の一部は国内市場にだし、一部は輸出用として商品化される。粉炭の大部分はムシ社の植林地へ土壌改良材として還元される。この粉炭は豆炭や練炭の原料としても十分使えるので、国内と国外の市場を対象として、現地でこれらの成型炭を生産する。また、原材料が一定であるため、炭化した際にも均質な製品ができる可能性が高い。このような炭化物は農業用の土壌改良材としてもものぞましいものであり、わが国へ輸入することも可能である。場合によっては燃料が不足している発展途上国へ援助物資として出すことも考えられる。

() チップダストを原料とした場合

専門家によると、チップダストは活性炭の原料として適しているため、事業としての採算性を考えた場合には、近い将来活性炭の生産をくわえたほうが望ましいという。活性炭の消費量は世界的にも増加傾向をしめしており、環境汚染や水汚染の拡大に伴ってわが国でも使用量が伸びると考えられている。

ただし、活性炭の製造には大規模な設備と工場が必要なだけでなく、大量の煙や水蒸気を発生させるために、環境問題を引き起こす例が多く、慎重に進めなければならない。また、CO₂の固定という点からみて、活性炭の製造では素灰生産と賦活化の二つの工程で大量のCO₂が発生することがわかっており、この事業の趣旨に合わない恐れがあるなど、問題も残されている。したがって、この点については、次年度に検討することとしたい。

11.2 事業資金計画

林地とパルプ工場における炭化試験とその加工および用途開発のための試験については、現在関係している各社が経費をそれぞれ分担支出して、実行に移すこととした。将来、CO₂固定事業としてこの事業を実行に移すための資金計画については今後の話し合いによるものと思われる。現時点では各社ともこの計画に強い関心をもっており、炭素排出権が認められていない段階でも、おそらく事業を進める方向で検討することになると予想される。その際にはCO₂固定を目的とした炭化事業

をおこなう現地法人の設立が必要になると思われる。

11.3 カウンターパートとの事業実施体制

現在この可能性調査に協力しているムシ社はインドネシアでも有数の大きな植林会社であり、林業省などとの結びつきも強い。現地では持続可能な林業を推進しようとして、住民対策や防火対策などにも真剣に取り組んでおり、新しい方向を示す林業会社として注目されている。技術者が意欲的で、育種や造林の研究者も数名抱えており、現在の調査にもきわめて協力的であり、カウンターパートとして十分満足のえられる相手である。

タンジュンエニム社はかなりの領域に日本人技術者が関与しており、とくに現地の工場はほとんど日本人の手で管理運営されているので、交渉が容易で、具体的な事柄についても相談しやすいという利点がある。工場には人員、重機類、運搬用車両などがそろっており、いつでも取り掛かれる体制が整っている。

一方、ムシ社とタンジュンエニム社は同じグループ、バリトパシフィックグループに属しているため、協力体制がとりやすく、ムシ社にはインドネシア林業省が資本参加しており、タンジュンエニム社には日本の商社、丸紅が資本参加し、日本製紙が技術支援をしている。そのため相互の連絡が容易なだけでなく、インドネシア政府の協力も得られやすいという利点がある。

したがって、炭化と農林業における炭の利用にかかわる技術指導員を派遣し、炭化事業に参入すれば、自動的にCO₂固定化事業に加わることになる。実際には第一段階としてムシ社、タンジュンエニム社と当社が資金を調達し、炭化などに関するコンソーシアムをつくり、バリトパシフィックグループの事業全体もしくはその一部がCO₂固定化事業として成り立つか、否かを検証する必要がある。その上で政府間の交渉経過をみながら、CDM事業として立ち上げるための準備をおこなうことになる。

CDM事業として位置づけされた第二段階では、この他にも参入企業を募り、炭素排出権取引にも加わることができる体制を整備する。その段階ではこのプロジェクトをモデルとしてインドネシア国内だけでなく、マレーシア等へも拡大することになるので、商社や保険会社などの参入も必要になると思われる。

12章 事業の効果と評価

12.1 バイオマス廃物のベースライン

本事業に係るベースライン、すなわち当該プロジェクトがない場合に生じる GHG 排出量については、社会経済学的観点と自然科学的観点からの推定が必要である。

まず、南スマトラ州において本事業に比する規模のバイオマス廃物炭化事業は存在しない。また、現在、現地ではバイオマス廃物の一部がパルプ工場運転の動力をまかなうための自家発電に利用されているが、必要以上の発電を行って余剰電力を電力会社に販売するような送変電設備等の基盤整備が整っていない。したがって、社会経済学的考察によると、当該事業がない場合を想定するならば、現地において、数年以内に自家発電量が著しく増大したり、バイオマス廃物を利用したその他の GHG 排出削減プロジェクトが導入される可能性は低いと考えられる。

次に、木質バイオマスの廃物が野外に放置された場合、最終的に土壌微生物等によって分解され、バイオマスに含まれる炭素のほとんどは大気中に再放出される。したがって、自然科学的考察によると、当該事業がない場合を想定するならば、バイオマス廃物中の炭素は“未利用のまま”遅かれ早かれ排出されることになる。

間接影響等を考慮したシステムバウンダリー（プロジェクトの影響が及ぶ範囲）からの GHG 排出量について考察する。本炭化事業の場合、主としてチップダストからの活性炭製造過程で使用する材料運搬車両や重機の動力源に軽油が消費されるが、この軽油の排出係数（ $0.7212\text{kg-C/}\text{kg}$ 、環境庁「二酸化炭素排出量報告書」より）に推定年間消費量 $594,000\text{ kg}$ （=日消費量 $2,700\text{ kg} \times 220\text{ 日}$ ）を乗じた値、すなわち 428 t-C が当該システムバウンダリーから毎年大気中に排出される。したがって、この化石燃料消費による炭素排出量をマイナスしてベースラインに計上する必要がある。一方、本プロジェクトで消費される電力については、現地では原則としてバイオマス発電で賄われることから、バイオマス電力の CO_2 排出係数をゼロ（炭素中立）と見なすことにより、本炭化事業の電力消費に起因する炭素排出量は無視できる。

2001年11月のCOP7（気候変動枠組条約第7回締約国会議）において採択されたマラケシュ合意によると、CDMプロジェクトの事業期間として2種類のオブシ

ョンが用意されている。1つ目は、7年間で単位として最大2回更新(最長21年間)できるが、更新に際して運営機関によるベースライン等の見直しがあるというもので、2つ目は、更新なしの10年間である。

本炭化事業の場合、20年にわたるプロジェクト期間中、運営機関による2回のレビューが行われる。その際、当該プロジェクトを取り巻く社会経済学的状況の変化は、本事業のベースラインや間接影響等の見直し、その結果としての運営機関によるCER(CDMプロジェクト由来のGHG削減量)の認証に反映されることになる。

12.2 対象となる温室効果ガスの削減量の試算

表7.6のデータから算出した本炭化事業における炭素収支の内訳を表12.1(別添)にまとめて示す。計算では、バイオマス絶乾重に係数0.5を乗じて炭素含有量を、炭製品生産重量に係数0.8を乗じて炭素固定量をそれぞれ算出した。したがって、両者の差から本炭化事業の炭素排出量を推定した。

林地残材、バーク・ウッドロス、チップダストなど炭材別炭素排出量(それぞれ年間、45,396t-C、14,948t-C、7,926t-C)を合計した事業全体の炭素排出量は年間68,269t-Cと算出された。また、上述したベースラインによる炭素排出量は年間96,227t-Cと評価された。

したがって、両者の排出量の差である年間27,958t-Cあるいは102,513t-CO₂が、本炭化事業による毎年の排出削減量となる(図12.1別添)。また、この年間排出削減量を20年のプロジェクト期間全体で累計すると、559,152t-Cあるいは2,050,224t-CO₂と試算される。すなわち、このCDMプロジェクトを実施することにより、毎年10万t規模の二酸化炭素を削減できることがわかった。

この炭素排出削減量は、実際には、本プロジェクトで生産される炭製品に含まれる炭素量(固定量)から、システムバウンダリーで消費される化石燃料(軽油)由来の炭素排出量を差し引いたものである。生産された炭製品は、土壌改良材や燃料を含む様々な用途に用いられるものの、無機態炭素で半永久的に地上に滞留するか、バイオマス燃料として化石燃料を代替しながら大気と生物圏を循環することになる。

12.3 費用対効果(Cost-efficiency)

表 7.6 に示された固定費と変動費の合計から総費用を算出すると、設備償却期間が終了する当初 5 年間の年間事業費用については、林地残材の炭化方法の違いにより、ドラム缶方式を採用した場合で合計 24,039 万円、組み立て方式の場合で合計 26,999 万円となる。

本事業による年間排出削減量は 102,513t-CO₂ であるから、この事業期間の費用対効果は、2,345～2,634 円/t-CO₂ と計算される。一方、設備償却後（6 年目以降）の年間事業費用については、同様の計算により、1,999～2,288 円/t-CO₂ と計算される。以上より全プロジェクト期間を通して計算すると、本炭化事業による GHG 削減の費用対効果は、2,086～2,288 円/t-CO₂ と算出された。

表 7.6 から明らかなように、この CDM プロジェクトの炭化事業としての採算は成立する。また、本プロジェクトによって創出される 1,300 人前後の労働者雇用を考えると、本炭化事業の地元村落への社会的貢献度はきわめて大きい。さらに、バイオマス廃物の野積に起因する様々な環境汚染問題や火災のリスク等を考えると、本炭化事業はこれらの環境問題の解決にも貢献できる。

12.4 事業の実現可能性

現在おこなわれている事業の全体が CO₂ 吸収、固定のための CDM 事業に当たるか、否かはより具体的な数値を入れた解析結果を待たなければ、判断できない点も多い。しかし、炭の利用やバイオマス発電が CO₂ の固定手段として認められるなら、十分新しい事業として成り立つものと思われる。インドネシアでは、まだ一般に温室効果ガスの削減や CDM についての理解がとぼしく、関係する各社も当方からこの CDM 可能性調査を申し込むまでは、ほとんど考慮していなかったようである。CO₂ 排出権取引はこれらの企業にとっても重大な関心事であり、将来のビジネスとして認識され始めたとおもわれる。われわれの事業の趣旨に対する理解はひましに強まっており、その点でも実現に期待がもてる。

すくなくとも炭化事業については処分に困っていたものを資源化できるという点だけからでも、当事者たちが乗り気になっており、実現の可能性はきわめて高い。炭化事業はゼロから始めるのではなく、すべての準備が整った上に乗せようとするだけであるため、製品の販路を見出す以外にほとんど問題がない。この販路についても、当初から久慈文化燃料など、製炭と販売にかかわる業者が相談にのっており、

すでに販売に関する情報の収集を始めている。それによると、日本への輸入の可能性だけでなく、他の国への輸出も十分可能だという。

植林と伐採および林地での炭化を受け持つムシ社は、この会社がインドネシアにおける産業植林のひとつのモデルケースとして設立されたという経緯もあって、林業省との連携も緊密である。そのため林業省の研究開発局や試験研究機関が直接かかわっており、当社が十年以上にわたって共同研究をおこなってきたガジャマダ大学のスタッフも参画している。ムシ社のリーダー、ハルジョノ氏も元林業省の研究者で、JICAに加わったこともあるなど、豊富な人脈にも恵まれている。現在は政府の方針に従って、住民との協調を進めるために、植林事業に雇用するだけでなく、分収造林を実行し、住民に農業技術の指導を試みている。したがって、住民との関係も良好で、林地における炭化事業にも住民の参加がえられるという。

タンジュンエニム社はムシ社と同じグループに属しており、ジャカルタの本社もムシ社と同じビルに入っている。同社の副社長は丸紅からの出向者で、スタッフにも日本人が多く、交渉や契約の点でも不安材料が少ない。先にも述べたように、すでにこの会社独自でも炭化の試験を始めることにしており、準備がすすめられているので、技術指導を的確におこなえば、すぐ軌道にのせることができる。関係者はきわめて積極的で、対応を急ぐようにいわれているほどである。

したがって、この構想を実現するための試行段階では、炭化設備とその周辺の作業に必要な機材の供給と技術者の短期派遣をおこなうだけで事足りると思われる。現段階でも実現の可能性はきわめて高いと思われるが、2～3年の試行段階で炭素収支、エネルギー収支、コストなどを検討し、事業として成り立つという判断を得た後、規模拡大を図るのが望ましい。

12.5 事業の持続性

この事業が長期間持続するためには、関係するすべての領域がバランスよく維持運営されなければならない。まず、第一に育苗と植林が計画どおりに進行し、火災や盗伐が発生しないように管理体制を維持することが肝要である。そのためには住民の協力が必須条件となる。ムシ社は「持続性のある林業と人々の暮らしの安定」を標語として努力しており、その成果は着実にあがっているように見える。住民が森林を自分たちのものと思うこと、森林が自分たちの暮らしだけでなく、環境にと

っても大切なものであると知ること、山間僻地に住んでも安心して暮らせるほどの収入が得られることなど、現地住民の意識とその暮らしに依存する部分がきわめて大きい。また、それがCDM事業の特徴でもある。

産業植林では8~10年の短いロテーションで伐採が行われるために、どうしても土壌養分の収奪が激しくなる。ことにムシ社のように、伐採した木材を樹皮がついたまま搬出すると、リンやカリなどの植物に必要な養分を持ち出してしまうことになる。林地に残された葉や小枝、枯れ木などもそのまま分解されたり、地拵えのための火入れによって燃やされたりすると、雨季の豪雨で流亡しやすくなる。そのため、炭化した炭を林地にまくことによって養分を還元し、林地で炭化することによって、流亡しにくくすることができる。

現在のところ、パルプ工場は操業2年目で、順調に稼働している。しかし、スマトラでは恒常的に電力が不足しており、工場を長期間持続させるためには、バイオマス発電によってエネルギーの自給体制を維持管理しなければならない。また、将来は余剰電力を外部に送ることも考慮しなければならないなど、いくつかの問題をかかえているという。当面は電力が十分供給されており、その点では持続性が高いとおもわれる。

当然、パルプ生産業も経済の動きに大きく左右されており、インドネシアでは近年の政治的不安定もあって、不安材料が増加している。さらに、最近では紙パルプ市場がグローバル化したために、経営上予測不能なことが多いとも聞く。したがって、本来廃棄物となるべきものを炭化によって代替エネルギーや燃料以外の用途に使用し、低コストで商品化できれば、企業的には満足されるものになるはずである。さらに、これがCO₂排出権につながれば、事業の持続性は高まることになる。

炭については燃料以外の用途がしだいに広がっており、アカシア マンギユウムの炭のように常に均質なものが低価格で大量に得られれば、工業的にも利用できる道が開けると思われる。先に述べたように、活性炭をはじめ、建築用や土壌改良用の炭など、わが国でも次第に用途範囲がひろがっている。

ここで生産される炭の主な用途は林地への養分還元と地元での燃料としての使用である。生産規模が拡大し、販路が確保され次第、市場性の高いものから販売することになる。輸出する場合には安定供給が要求されるので、生産体制を長期にわたって維持する方策を立てておく必要がある。製炭事業は発電とならんで、CO₂排出

権に関係するので、次年度には具体的な数値を入手する調査を実施したい。経営的には活性炭の生産が重要であり、実施したいという事業もあるので、近い将来、CO2固定事業を本格化させる際に取り込むことを考慮して、これも次年度に調査する。

現段階でそれぞれの事業規模、資本、参加企業の能力、地元への社会経済的影響の大きさなどから考えて、事業の持続性はかなり高く、また、高めなければならないと思われる。

12.6 間接影響（リーケージ）

この事業には関連のある分野が多いので、実施段階になると、広範囲に影響がおよぶものと予測される。そのおもなものを以下にあげる。

- 1) 天然林再生：パルプ工場から離れた遠隔地にあるアカシア林を伐採後、逐次フタバガキの天然林に誘導する計画がある。これは過伐された森林を元の姿に戻すというだけでなく、生物多様性を回復させるという点でも長期的に大きな意味を持っている。とくに、スマトラの低地では天然林がほとんどなくなっているため、早急に対策が求められている。これは政府の意向や世界の世論にそうものであり、歓迎され計画である。
- 2) 農林産物の生産性の向上：先にものべたようにマメ科植物に炭を施用すると、細根が増え、根粒がよく形成される。さらに空中窒素固定菌による窒素固定が進み、土壌中の窒素が増加するので、植物の成長が促進される。まだ実験途中ではあるが、アカシアについても同様の効果が期待できる。アカシアの生長が助長されれば、伐採時期を早めることが可能となり、経済効果が増大する。農作物についても同様、VA菌根菌や根粒菌が炭によって増殖し、根に感染しやすくなる。その結果、作物の生長量がふえるだけでなく、病虫害に対する抵抗力が強まり、商品価値を高めることが期待される。これは住民の生活の安定に直結している。
- 3) 経済的影響：アカシアの成長量の増大はムシ社にとって大きな経済的メリットになる。農作物の増収は植林地周辺に暮らす住民にとって、収入の増加と生活の向上につながる。また、林地での炭焼きに参加した住民はその一部を燃料として売るか、もしくは労賃を得ることによって現金収入の途ができることになる。会社側でも炭を大量に生産し、販売できれば、収益

を増加させることができる。また、林地へすみを施用することによって、従来使っていた化学肥料の量を削減することも可能になる。パルプ産業では廃棄物が処理され、それが商品化されることによって余剰収益が上がることになり、さらにCO₂の排出削減事業に加わることも可能になる。おそらく、バイオマス発電と炭化による削減量をカウントすると、原材料の量が多いだけに、相当な値になると思われる。

- 4) 社会的影響：南スマトラは人口が多いわりに就労機会が少なく、若年の失業者が目立っている。現にパルプ工場でも特定の仕事をもち余剰労働者がかかえており、植林地にも雇用の機会をまつ人が多い。新しい事業を起こして、少しでも収入のある仕事を与え、やさしい技術が身につくように図る必要がある。とくに、最近の政治的混乱のあおりを受けた地域では雇用の促進が深刻な政治課題となっている。操業開始時点で地元民の放火によって、パルプ工場にあった木材が大量に燃えるという事故が起こったために、企業側もその点には十分留意して雇用機会をふやす努力をしている。炭化事業をおこすことはその点でも有意義なことと思われる。
- 5) 周辺環境への影響：伐採後、林地に放置された残材はしばしば火災の原因となり、それが元になって植林地が焼失することも珍しくない。火災の原因は放火の場合もあるが、地拵えのために火入れしたのが広がることも多い。林地での炭焼きを奨励すると、火災の原因がなくなるので、事業の持続性を考える上でも大きな意味がある。森林火災の煙はマレー半島まで達するほどの規模になり、CO₂の放出だけでなく、公害問題として国際的にも取り上げられている。パルプ工場は大量の水を使い、十分監視されているが、廃液も出している。この廃液を炭によってさらに浄化し、河川に放出すれば、水質の悪化を抑えることができる。なおについても炭のフィルターを使用するなど、公害対策として炭が活用できる場面は多いはずである。バイオマス発電についても、将来は周辺地域へ供給する体制をとるなど、地域との共生を図る必要が生じてくるように思われる。

われわれの立場からみると、すべてがプラス効果のようにみえるが、現実をみると、マイナス面も無視できない。たとえば、林地の残材を炭にして売ると、いくらで売れたという話が伝わると、われもわれもと炭焼きをはじめ、過剰生産に陥って共倒

れになるおそれがある。さらに、新しい事業につきものの利権あさがはびこり、農民が単なる炭焼き労働者にされてしまう懸念もあるなど、事業の進め方を慎重に検討しておかないと思いがけないトラブルの原因をつくることになりかねない。とくに、このような影響範囲の広い事業を発展途上国で実施しようとする場合は、事業の主体よりも周辺事情が強い足かせになることが多い。

12.7 モニタリング

1) 残廃材量の把握

パルプ工場の廃材量については、工場内での品質管理の点からある程度正確な値が測定されるが、林地残材量についての精度の高い推定方法を確立する必要がある。立木材積の整備とともに、収穫量の管理が必要である。これについては、まだ十分に検討されていないので、今後の課題である。

また、次の点についてもモニタリングの上で重要な要素になり検討を重ねていきたい。

2) 製炭量の把握

3) 炭の用途別の量の把握

また、バイオマス発電については、廃物量と燃焼量は工場の品質管理で、把握されているが、化石燃料の代替エネルギーとしての観点から、再度検討する必要がある。

12.8 不確実性

以上に紹介した事業はインドネシアの南スマトラ州で実際に行われているもので、炭化事業を加えるだけで成立する可能性の高い、いわば理想的な例である。したがって、事業の実現にはほとんど不安がなく、政変や森林火災、その他の災害などの不可抗力について不確実性を感じるだけである。

現在調査対象にしているケースについては実現の可能性が高いが、これをインドネシア国内の各地に広げようとする場合には、それぞれの条件に応じて異質な問題が提起されてくると予想される。インドネシア以外の国に適用しようとする時は、社会経済的、政治的事実がかなり異なるので、対応の仕方も違ったものになるであろう。

この事業は本来、異質な事業の複合体となって、はじめて機能するようになって

いる。全体のシステムは「植林によって工業原料を生産する林業」「伐採された木材からパルプなどの製品を生産する工業」「残廃材を炭化して利用する製炭業」「廃材を利用したバイオマス発電事業」「CO₂ 排出権取引業」「各種の製品を販売する商社」などのサブシステムから成り立っている。これらのいずれかひとつが脱落するだけで、全体が成り立たなくなるので、相互のバランスがうまくとれる状態を維持することが不可欠となる。さらに住民問題や行政的な制約がからむと、当然不確実性は高まるので、対社会的な配慮も重要である。

具体的な例を取り上げて調査してみると、関係する企業の組みあわせ方が成否を決めるもっとも大きな要因となるように思える。東南アジアでは、とくに華僑系社会では人脈を重視する傾向が強く、コンソーシアムを作る過程で、ほぼ成否が判断できるほどである。この点でも、現在調査中の例は理想的といえる。

現在、インドネシアだけでもムシ社とほぼ同規模の産業植林を行っている会社が10社ちかくある。ただし、ムシ社以外の一部に二次林の伐採木を用いており、伐採する木材の全量がアカシアだけというのはムシ社のみである。したがって、将来これらの企業を相手にCDM事業を進めるためには、二次林の伐採によるマイナス効果と外部からの批判を承知していなければならない。

インドネシアでは産業植林の開始がおそく、1990年代に入ってから大面積造林が始まったために、若い林分が多く、これから本格的な伐採を始めるといえることが多い。そのためパルプ工場はおろか、製紙工場やチップ工場も少ないのが現状である。したがって、インドネシアで同様の事業を起こそうという場合は、既存の植林地をもったパートナーを選ぶだけでなく、チップやパルプを生産する工場の設立や運営、さらにはバイオマス発電設備の設置や炭化工場の設立にもかかわる必要が生じるものと思われる。このようになると、パートナーになる日本側が多額の投資を強いられるため、実施を希望する側の不確実性も高まるという心配がでてくる。

いうまでもなく、これに加えて自然災害や森林火災、盗伐、政治的不安定、経済的リスクなど、不確定要素、もしくは不安要因は無数にある。そのためにもCDM事業を推進する場合はリスクを予想した保険制度か、政府の具体的なバックアップが必要になるとと思われる。

12.9 今後の課題

マレーシアでのCDM可能性調査の経験と今回の例から見て、CO₂吸収源を課題としたCDM事業を発展途上国で実施しようとする場合には、相手国やパートナーの理解を得ることはもちろん、正しい情報に基づいた可能性に関する分析と粘り強い交渉、強力な人脈の発掘など相当長期間にわたる準備が必要となる。

事業の実施についてみると、事業自体が長期間維持されなければならないこと、社会的影響が大きいこと、国家間の交渉に依存する点がおおいことなど、私企業の自主的行動だけではただちに実施に踏み切れない事柄が多い。そのため、早急に具体的事例をあげて、可能な限り問題点を引き出し、交渉から実施にいたる過程で生じる問題とその解決方法を整理し、マニュアルを作成する必要がある。また、事業の細部にわたって、詳細なデータを収集し、炭素収支、エネルギー収支、経済性の検討など、いわゆるLCA(ライフサイクルアセスメント)を試み、厳正に評価しておく必要を感じる。

我々はムシ社とタンジュンエニム社による既存の事業に炭化事業を加え、当初の「持続可能な生産およびCO₂固定植林事業計画」構想のモデルケースにしようと考えた。この構想全体を温室効果ガス削減事業のモデルとしてとらえようとする、まだ、いくつか補足しなければならない点が残されている。炭化と炭化物の利用に関する試験のほか、炭化事業以外の事業が使用する化石燃料の量、排出するCO₂などの温室効果ガスの量、所要の経費、代替燃料によって削減されるガスの量、廃棄されている木材などの量など公開が可能なデータを入手して、全体の収支計算を試みなければならない。これに基づいて解析を行い、通常の事業として採算が取れる上にCO₂固定事業としても成り立つか、否かを評価することになる。これらの調査と試験を加えて、事業モデルを完成させ、シミュレーションをおこなうことが望まれる。

炭化事業がない現状でみると、バイオマス発電が稼働しているので、収支はプラス マイナス ゼロになると予想され、炭化事業を加えると、プラスに転じるものと思われる。この計算の結果から炭化の効果が大きければ、事業を実施する企業の同意も得やすく、国際的に木炭等の炭化物をCO₂固定の一手段として、認めようという方向もでてくるものと期待される。

この可能性調査は温室効果ガスの吸収源にかかわるプロジェクトを議論の段階から一歩進めて、実行の段階へ移行させようとするものであり、緊急性もきわめて高

い。外国にエネルギー資源を依存する率の高い国として、エネルギーを供給する側の東南アジア諸国で、わが国が率先してC D M事業を試みる意義は大きいはずである。

補足 マレーシア連邦とインドネシア共和国の比較

補1 CDMに対する対応の相違と日本への期待

よく知られているように、マレーシア政府はマハティール首相の意向もあって、表向きはCDMにきわめて批判的である。とくに環境関係の政府機関では吸収源プロジェクトについて、少なくとも好意的でない印象を受けた。一方、林業関係者は政府機関も研究機関もきわめて好意的で、いつでも受け入れられるような印象を数年前から与え続けている。その背景には日本と同様、植林に要する経費が不足しており、炭素排出権がその資金の元になりうると考えているためである。

半島の州と連邦政府の影響力が弱いサラワク州やサバ州では大きく事情や意見が異なっており、サバ、サラワク州ではゴム園やオイル パームの栽培園が急速に拡大しているために天然林保護や人工林の造成、産業植林の導入などを歓迎する雰囲気強い。サバ、サラワク州ではインドネシアと国境を接する地帯での盗伐が大きな問題となっており、いつまでも天然林からの木材に依存できない情勢になっている。そのため、植林を始める企業が増加しており、資源保護の点からも日本からの技術と資金に期待する声がある。

一般にマレーシアでは温室効果ガスの削減や地球温暖化にたいする関心は一部を除いてまだ低く、数年前まではサラワク州でも州政府以外はほとんど関心がなかった。しかし、ここ一、二年の間に議論がかなり進展し、一般紙にも関連記事が載るほどになってきた。おそらく、温暖化に対する危機意識よりも最初は排出権取引に関心があつまるものと思われる。おそらく、マハティール政権が交代すると、政策が急激に変化すると思われ、またそれを期待する向きも多い。

われわれが耳にする限り、「日本はいつまでも可能性調査ばかり続けていて実行しない。いつ、なにをやるのか早く具体案を示せ」という期待と苛立ちが入り混じった声が聞こえてくる。さらに、「いいことだから、大いに協力して実行に移しましょう」という人もあれば、「もしマレーシアでCDMを実施したいのなら、ハイテク技術を移転するべきだ。単に木を植えるための土地だけを先進国に提供すると思っただら、心得違いもはなはだしい」という意見もある。欧米、とくにイギリスとのつながりが強いマレーシアの感覚は経済的に日本に依存する率の高かったインドネシ

アにくらべると、かなり異なっている。

インドネシアではマレーシアにくらべても地球温暖化に対する関心は低く、政府の環境省の担当官が絶望的になるほどである。まして林業省では盗伐の防止と住民対策に振り回されており、環境問題に取り組むだけのゆとりがなかった。ようやく昨年になって、若い研究者上がりの行政官たちの間で話し合いが行われるようになったが、辞任する人が続出し、議論が宙にういている感じである。とはいえ、数年前にくらべれば、国立の研究機関や大学の研究者たちの間では関心がたかまっており、排出権取引による経済的効果が云々されるようになると、現状からみて、急速に関心が高まるものと思われる。

このような背景からもインドネシアでCDMのモデル事業を立ち上げ、CO₂固定事業がインドネシアにとって利益となるだけでなく、国際的にもその存在価値をアピールするいい機会となることを示すべきであると考えます。少なくとも、インドネシア政府はCDMの導入に否定的ではなく、人によっては歓迎する態度がみられる。一般世論の動向に待つのではなく、インドネシアの各界のリーダー、とくに若い世代と話し合って計画を推進するのが望ましい。

ただし、よく知られているように、現在のインドネシアは国家的に破産状態にちかく、政治的にもまだ不安定のままである。ことにCDM事業の対象となる地方では、地方分権が進んだこともあって、森林管理や治安に問題のある州が増えているため、危機管理について十二分の配慮が必要と思われる。

マレーシアにくらべると、友好的で協力も得られやすいが、言葉が通じにくいためもあってか、いい加減なことが多く、宗教的制約が大きいなど事業を進める上で問題になることも多い。

補2 吸収源CDM実施上の自然環境

産業植林の対象地は古くから焼畑農業がおこなわれていた地域で、土地が疲弊したために放棄され、草地化していたという。1980年代に日本の国際協力事業団がこの近くのブナカットにアカシアの産業植林をモデル事業として実施し、これがきっかけとなって、現在の大規模植林が始まった。そのため19万ヘクタールのアカシア人工林が成林しており、その中や周辺に農民の集落が点在している状況である。したがって、これから新たに土地を選んで事業を始める場合と条件がまったく異な

る。また、ムシ社では今後新たに二次林などを伐採して新植地を増やそうという計画をもっていない。

土地全体がほとんど平坦で土壌流亡や風食の心配もないが、短伐期林業をおこなうと、土地が疲弊する恐れがある。そのため炭を土壌に還元して長期間地力を保つ方法を検討中である。アカシアはマメ科植物のため、土壌中に窒素を蓄積する力がある。実際、アカシア マンギユウムを十年近く育てたところでは、草地だったころに比べて表土が黒くなり、団粒構造が発達していたので、土壌は疲弊するよりも、むしろ見かけは肥沃化しているといえる。

アカシア林が大面積を占めると、当然その地域の生物相は影響をうけて単純化し、大きく変化すると思われる。さらに帰化植物のアカシアの繁殖力はきわめて強く、伐採跡地が一年もたたないうちに実生のアカシアで占拠されるほどである。そのため産業植林地の周辺ではフタバガキの植栽につとめ、天然林再生を試みている。

この植林はたんに自然保護のためだけではなく、数十年後に用材をえようとするものでもあり、住民も参加している。先進国の例にも見られるように、産業植林と天然林保護は本来、相矛盾する人間の行為であり、両立させることはきわめて難しい。

補3 吸収源CDM実施上の社会経済環境

産業植林地周辺では住民が植林地内やパルプ工場、近くのオイル パーム園などで働き、農民も定住化しているので、ムシ社と住民の間にはほとんどトラブルがない。ムシ社はこれまでに植林事業に参加させるだけでなく、農民に種子や肥料を与え、モデル農園をつくって農業技術の普及を図るなど、現地の住民対策に重きをおいてきた。植林事業にとって最も重要な火災予防のためにも林内に火の見やぐらをたてて、監視体制をとってきたが、周辺住民の協力もあってこれまで火災の発生もなく、周辺の治安もよいという。

ムシ社が炭化事業を始めるときには、炭化炉を住民に貸与し、製品を買い取る方向で進める予定である。住民は市場価値の低い炭を自家用に使い、一定の現金収入を得ることができる。屑になった炭は自分の畑にも使うことができるなど、雇用と収入、さらに自家用の燃料と肥料にかわる資材を手に入れることができる。ムシ社

にとっても火災を予防し、住民が参加する新たな事業が始まり、さらに安定した経営が可能になるはずである。

パルプ工場では廃棄物を処理し、新しい商品を開発し、環境問題にも貢献できるというメリットがあるだけでなく、炭化事業を取り込むことによって、雇用機会を増やし、周辺住民とのトラブルの回避に役立てることができる。さらに発電事業を将来拡大して、電力を周辺地域に供給することができれば、収益が増加するだけでなく、住民との融和を図る上でも有利に働くはずである。

種々の点からみて、南スマトラで既存の企業とそれらの事業に炭化事業を加えて、CO₂固定事業をおこなうことについては、投資額が少なく、過剰な設備を必要とせず、就労機会を与え、製品の一部を商品化できるなど、経営的に考えても、マイナス要因はきわめて少ない。万一、不成功に終わっても、負荷はきわめて低く、炭化事業のリスクも低い。吸収源CDMを実施する際は、周辺への負荷を減らすのと同時に、可能な限りリスクの数を減らし、たとえ小規模であっても、長期間現地に溶け込んで定着するものが望ましい。そのためには現地の要望をふまえて、将来見通しをたて、現地に適合した事業形態を選ぶのが望ましい。

補4 パートナーとしての各機関の力量

先にも述べたように、ムシ社、タンジュンエニム社だけでなく、それぞれの現地の組織や工場、苗畑、作業場、研究所およびそこに働く人材などについて、今のところ不安はない。また、これらの機関と政府機関や大学、日本の会社などとの関係も良好で、今後も順調に推移するものと思われる。

引用文献

- Awang, K. and Taylor, D. (eds) (1993) *Acacia mangium - Growing and utilization*, Winrock International and FAO, Bangkok, 280p
- Kathy Mckinnon et al. (2000) *The Ecology of Sumatra*, Periplus Editions
- Lim, M.T. (1986) Biomass and productivity of 4.5 year-old *Acacia mangium* in Sarawak, *Pertanika* 9: 81-87.
- Lim, M.T. (1988) Studies on *Acacia mangium* in Kemasul Forest, Malaysia. I. Biomass and productivity. *Journal of Tropical Ecology* 4: 293-302.
- 山田麻木乃,花水恭二,大道隆,丹下健,森川靖(2000)産業植林早生樹種の炭素固定量(4),*熱帯林業* 49: 20-33
- Working team - Faculty of Forestry, Gadjah Mada University (2000) Final Report on Penelitian pemanfaatan limbah terbang *Acacia mangium* di HPHTI PT. Musi Hutan Persada Sebagai arang briket

参考文献

- 川瀬清 (1976)林産学概論, 北海道大学図書刊行会
- Anonymous. 1993. *South Sumatra Contracts 1993*. Government of South Sumatra Province. Palembang.
- BAPPEDA Tingkat I Sumatera Selatan dan Badan Pusat Statistik Propinsi Sumatera Selatan. 1999. *South Sumatra in Figures 1999*. Central Board of Statistics of South Sumatra province. Palembang.