
調査・分析・予測

発電プラントにおける代替燃料 (その1)

CADDET IEA OECD

省エネルギー

分析シリーズ No.26 1999年12月

日本語版

実証済みエネルギー技術の分析と普及のためのセンター

SittardのCADETによってオランダで出版

© CADET省エネルギー 1999年

全著作権所有。オランダ、SittardのCADET Energy Efficiency (Novem B. V.) が事前に書面により許可を与えなければ、本出版物／情報のいかなる部分も何らかの形又は何らかの方法によって複製、検索システムに保存、又は配布することはできない。

CADET Energy Efficiencyからの警告

CADETもそのために行動する何人も

- ・ ここで述べられる情報、見解又は声明の正確性に関して、何らかの保証又は代表、表明又は暗示をするものではなく、
- ・ この情報の使用、又はこの情報を使用したことによる損害について、何らかの責任又は義務を負うものではない。

CADET Energy Efficiencyが作成した全ての情報は、オランダの法律の管轄下にある。

ISBN 90-72647-44-0

レイアウト de Vormgeverij, Meerssen
オランダにて印刷

緒言

エネルギー需要は世界中で拡大し続けており、市場構造もそれに応じて発展している。多くの製品のエネルギー集約度は低下しているが、生活スタイルの変化（旅行やレジャー活動の増加）、更には産業市場での競争が激化するのに伴い、エネルギー消費量はいまだに増加しつつある。開発途上国は同様の経済・社会的繁栄を追い求め、そのためエネルギーの取引は急速に拡大している。近代的な社会は、土地の埋め立てや単純な焼却よりも一層合理的かつ効率的な方法で処理しなければならない廃棄物が増加することも意味している。

そのため環境の健全性が人間社会の影響を受けることになり、二酸化炭素の発生の増加による温室効果や、山のように発生する廃棄物の問題が起こっている。近い将来に考えなければならないもう一つの様相は、社会が化石燃料の埋蔵量に依存していることである。もちろん、この埋蔵量は無制限にもつわけではない。将来のエネルギー政策は、有害物質の排出低減を保証し合理的なエネルギー使用を確実なものにしなければならず、一方で持続可能な経済成長を維持していかなければならない。

発電のために代替燃料を使用することが一つの答えになるだろう。近年、この分野で急速に関心が高まっており、バイオマスや廃棄物等の代替燃料の熱変換技術を実証するまでになっている。

本報告書は、先進的な代替燃料と利用可能な変換技術に関する実際の経験を述べている。議論する多様な代替燃料としては、特に木材、農業残さ物、ワラ及び廃棄物を挙げた。網羅した技術は、嫌気消化、流動床システム、ガス化と熱分解である。発電への代替燃料の使用に関する現状をまとめた付録に示した 97 基のプラントを分析するために、基本的な活動を行った。実証プロジェクトとして選択した 18 基のプラントは、利用可能技術と代替燃料の余すところのない例を代表している。技術情報、環境面、運転面そして経済の点から、これらのプロジェクトを十分に説明する。

本報告書は、代替燃料を使用する発電プラントの包括的かつ余すところのない概観を示しているため、この分野に関心を持つ全ての者にとって必読の書である。

Tommaso Setaro

エネルギー局
エンジニアリング部
ENEA
イタリア、ローマ

CADDET

The Centre for Analysis and Dissemination of Demonstrated Energy Technologies (実証済みエネルギー技術の分析と普及のためのセンター)

CADDET Energy Efficiencyは、実証済み末端使用省エネ技術に関する情報の分析と普及を行う国際エネルギー機関のセンターとして活動している。同機関は、CADDETの加盟者である全IEA加盟国のために活動している。

CADDETの目的は、末端使用分野におけるエネルギー効率が高い技術の情報収集と情報交換を幅広いものにして促進させることである。この方法によってCADDETは、各国政府、公益事業企業、産業界の関係者や末端使用者にその種の技術を良く理解してもらい、それによって一層多くの情報に基づいた意思決定と成功した実証例の改善された再現を奨励することを目指している。

実証は、研究開発作業と最終需要市場の間の重要な橋渡しを行う。それらの役割は、特定技術が適切で経済的にも成立すると実証することであり、それによって末端使用者がそれらの技術を広範に採用し易くすることである。

従ってCADDETの作業には、現在進められているものと完了した実証プロジェクトの情報・データを収集し、それと共に適切な技術的・経済的分析を加えることが含まれる。その後、それらの結果は公表される。情報は加盟各国で活動する国内チームがCADDETに提供する。

本出版物は分析報告書シリーズの 26 番目にあたる。これらの報告書は、最終需要分野で採用可能な特定の省エネ技術又は技法への関心を高め、それによってそれらの市場導入を容易にするように特に意図されている。これらの報告書は、成功した適用例の特性を最終需要家に知らせ、更に実施に先立って詳細な評価を行うべき諸要素を示すように構成されている。

発電プラントにおける代替燃料（その1）

目 次

緒 言	39
CADDET	40
目 次	41
用語集、頭字語及び略語	43
第I部 概 要	
1. はじめに	46
2. 範 囲	46
3. 知 見	47
4. 実証プロジェクト	48
第II部 技術報告	
1. はじめに	49
1.1 動機づけ	49
1.2 範囲、目的と読者層	49
1.3 報告書の構成	50
1.4 定 義	51
2. 燃 料	51
2.1 はじめに	51
2.2 燃料の特性	51
2.2.1 木 材	51
2.2.2 農業残さ物	52
2.2.3 エネルギー作物	52
2.2.4 廃棄物	53
2.3 混 合	53
3. 変換ルート	56
3.1 はじめに	56
4. 燃料と技術のマトリックス	59
5. 実証プロジェクトの選択と結論	62
5.1 はじめに	62
5.1.1 選択の基準	62
5.1.2 提供される情報	62

5.2 知 見	65
5.2.1 (同時) 燃焼	65
5.2.2 ガス化	66
5.2.3 熱分解	67
5.2.4 嫌気消化	68
5.3 まとめ	68
第Ⅲ部 実証プロジェクト	
6. 実証プロジェクト	69
6.1 木材焚きCHPプラント (オランダ、Schijndel)	69
6.2 IGCC実証プラント (スウェーデン、Värnamo)	73
6.3 Rauhalampi発電プラント (フィンランド)	80
6.4 EPON同時燃焼プラント (オランダ、Gelderland)	84
6.5 SRC-Gazelガス化プロジェクト (ベルギー、Leuven)	90
6.6 Renugasガス化装置 (米国、ハワイ)	95
6.7 Marsh発電プラント (米国、カリフォルニア州、Williams)	101
6.8 Rudkøbing CHPプラント (デンマーク)	103

用語集、頭字語及び略語

燃 料

MSW	都市固体廃棄物
RDF	廃物利用燃料
SRC	短伐低木林材
SSOW	発生源で分離された有機廃棄物
TDF	タイヤ加工燃料
VGf	野菜・庭園・果物廃棄物

技 術

AD	嫌気消化
BACT	利用可能な最良の制御技術
BFB	バブリング流動床
CFB	循環流動床
CHP	複合熱・発電
EDU	エンジニアリング開発ユニット
FB	流動床
GF	火格子焚き
HGCU	高温ガス浄化
IC	内部燃焼
IGCC	統合ガス化複合サイクル
LF	埋め立て
PDU	プロセス開発ユニット
PFC	粉体化燃料燃焼
PLC	プログラマブル・ロジック・コントローラ
SB	蒸気ボイラー
UASB	上向流の嫌気スラッジ床
WIP	廃棄物焼却プラント

国 名

AU	オーストラリア
BE	ベルギー
CH	スイス
DE	ドイツ

DK	デンマーク
ES	スペイン
FI	フィンランド
IT	イタリア
JP	日本
NO	ノルウェー
NL	オランダ
SE	スウェーデン
TH	タイ
UK	英国
US	アメリカ合衆国

その他

bara	絶対圧力のbar—barg（ゲージ圧力のbar）、又は単にbarと区別するために使用される。
C	炭素
CaSO ₄	石膏
Cp	商業段階（又はプラント、又はプロジェクト）
CH ₄	メタン（ガス）、バイオマスの腐敗によって自然に発生し、燃料として使用できるが、温室効果にも寄与する。
CO	一酸化炭素（非常に有毒なガス。不完全燃焼で発生する。）
CO ₂	二酸化炭素。呼気と完全燃焼で発生する基本的なガス。主要な温室効果ガスでもある。
comminute	より小さい破片（又は粒子）に破碎すること。
d	日
d.b.	乾燥状態に基づく。
D	実証段階
EWAB	廃棄物とバイオマスからのエネルギー
H ₂	水素
h	時間
HCl	塩酸
H ₂ S	硫化水素。硫黄を含むバイオマスの腐敗によって発生する有害ガス。
HT	高温
i	利益率（%）
mesophilic	穏当な温度で繁殖する有機体又は有機プロセスを指す。

methanogenic	メタン（上記の CH_4 を参照）を発生する有機体又は有機プロセスを指す。
n	減価償却の期間（年）
N_2	窒素
n.a.	入手していない。
NaOH	苛性ソーダ
Novem	オランダエネルギー・環境機関
NO_x	燃焼によって少量発生する窒素の酸化物
O_2	酸素
OE	臭気等量
SO_x	硫黄を含む燃料の燃焼で発生する硫黄酸化物。特に、有害な気体状二酸化硫黄（ SO_2 ）。
t	トン
T	商業施設で実施した試験
TEQ	毒性等量
thermophilic	高温で昂進する有機体又は有機プロセスを指す。
w.b.	湿り状態に基づく。
yr	年

第 I 部 概 要

1. はじめに

発電のために代替燃料を使用することは、ずっと以前から技術的には関心が持たれてきたが、注目を集めるようになったのは最近のことである。これには多くの理由がある。最も重要な理由は、二酸化硫黄や窒素酸化物 (SO_2 、 NO_x) を含む有害物質の大気への排出を減らし、未処理灰による土壌の汚染を減らす必要性である。より最近では、温室効果ガス、特に二酸化炭素とメタン (CO_2 、 CH_4) の排出を低減することがますます重要で緊急な問題になっている。

他の主要な要素は経済性である。エネルギー市場の自由化が進められた結果、公益事業会社間の競争が激化し、より安い燃料が広く求められるようになってきている。多くの国では、輸入燃料への依存度を下げる必要性から、安い燃料の探求が行われている。燃料を輸入するかどうかはともかく、永遠にもつわけではない地球の化石燃料の埋蔵量に対する人類社会の依存度を低減して、最終的にはその依存性をなくすための方法は昔から考えられてきた（そして究極的には必須の）要求でもある。

最後に、可燃性残さ物を有効利用し、その種の廃棄物を土地の埋め立てや単純な焼却よりも害が少ない方法で処分したいという要求と希望が増加している。これらの要求は全て、代替燃料を使用すればある程度満たされる。そのために今日多くの技術が急速に発展しつつある。それにも関わらず、1920 年という早い時期に出版された参考文献[11]を見れば、今日と同じ多くの代替燃料が当時既に関心を持たれていたことがわかる。とはいっても、今日入手できる代替燃料は範囲が著しく広くなり、その一方でそれらを利用するための技術も当然のことながら急速な進歩を遂げている。我々の要求もそれに対応して一層緊急になっている。

本報告書では、今日の先進的な代替燃料の使用に関する実際の経験をまとめている。これらは多くの実証プロジェクトや実証目的に使用できる商業プロジェクトに例が見られる。本報告書の第 II 部“技術報告”では、多岐にわたる経験の範囲と知見の概略を説明する。本報告書の大部分を占めている第 III 部“実証プロジェクト”では、特定の例を個々に考察する。

2. 範 囲

我々が現在使用している化石燃料の代わり、又はそれを補うために使用される（又は使用が考えられる）燃料には、木材（森業木材、木材残さ、短伐低木林材）、及びバガス（サトウキビ廃棄物）、オリーブ廃棄物、米の殻（モミガラ）そしてワラのような農業残さ物がある。それ以外に、特別に栽培されるエネルギー作物（Miscanthus : ススキの一種。Reed Canary Grass : クサヨシ。ヨーロッパ及び北米原産のイネ科多年草。家畜飼料になる。Switch

Grass：米国西部産イネ科キビ属の植物）や、都市固体廃棄物や廃物利用燃料、スラッジ（汚水スラッジ、製紙スラッジ）、そして肥料のような他の廃棄物もある。本報告書は、前記の代替燃料の使用を目的とした技術を広範に議論するためのものである。太陽、風力、水力や地熱エネルギーのような広範囲の代替エネルギー源を調査する試みはしない。

今回は、（同時）燃焼、ガス化、熱分解、及び嫌気消化の各種技術を議論する。第II部でそれらの技術プロセスを詳細に述べ、第III部で特定のプロジェクトを個々に議論する。最初の3つは熱変換技術である。最後のものはそれ自体生物学的変換技術であるが、そのプロセスで発生するバイオガスは発電のために使用でき、例えばガスエンジンや蒸気サイクルに用いられる。

3. 知 見

バイオマスと廃棄物の燃焼は両方とも実証された技術である。近代的なプラントでは、都市固体廃棄物の焼却を発電と組合せ、正味電気出力の大きいものが実現されている（最大 45MW_eまで実証済み）。新しく開発されたものとして、主（化石）燃料と共にバイオマスを同時燃焼させるものがあり、単独燃料システムよりも全体効率が向上する。

専用発電プラントにおけるエネルギー作物の燃焼は開発途上にあるが、まだ実際の実証プロジェクトは引用できない。発電のために木材を燃焼することは、しばしば他種のバイオマス又は廃棄物と組み合わせられるが、実証された技術である。

同時燃焼（co-combustion）又は同時焚き（co-firing）は、発電所で石炭又は他の主（化石）燃料と共に廃棄物やバイオマスを焚くための特別な燃焼形態であると考えられる。この応用のために、しばしば二次燃料のサイズを小さくする必要がある。この方法で焚くことができる廃棄物又はバイオマスの量をエネルギー量にして燃料全体の最大 30%までにすることが期待される。正確な量は、同時燃焼物の汚染の程度、発熱量及び活性度によるだろう。実証された全ての（同時）燃焼システムでは、蒸気サイクル（蒸気ボイラー、蒸気タービンと発電機）によって発電を行う。

ガス化技術は、コスト上有効で環境面から受け入れられる廃棄物の再利用と高効率のバイオマス変換を行う潜在的可能性を持っている。バイオマス及び／又は廃棄物をガス化するために、既に多くの実証プラントが建設されている。結果として得られた発粗ガスをガスエンジンやガスタービンに使ったり、ボイラーでの（同時）燃焼に使用できる。このガスを高効率の統合ガス化複合サイクル（IGCC）ユニットーガスタービンと蒸気タービンの組合せで使用することは、挑戦的な課題である。その最終目標に向けて現在多くの活動が行われている。

ガスを熱利用に適した状態にするためのガス浄化研究に関して現在多くの努力が行われているが、この技術を商業規模で適用できるかどうかはまだ判断できていない。

熱分解は、酸素がない状態で行われる熱変換プロセスであり、固体、液体そして気体を発生させる。発電という意味合いでは、特にもし廃棄物燃料を使用するなら、炭化した生

成物を生じるゆっくりした熱分解を（同時）燃焼又はガス化に先立つ前処理プロセスとして使用できる。中間生成物は性質がはっきりしており、発電に使用する新たな機会が得られる。

タービンや内燃（IC）機関やボイラーでの使用に適したバイオオイルを生成するフラッシュ熱分解はまだ開発途上であるが、長期的な見通しは明るい。

嫌気消化（発酵）は、水分を含む特定種類の廃棄物とバイオマスに対して魅力的な変換方法である。原理的に、バイオガスは発粗ガスと同じ方法で処理（そして最終的に天然ガスと同じ品質まで改善）した後に使用できる。都市固体廃棄物（MSW）からの埋め立てガスの発生と利用も、発電のための一オプションになる可能性がある。ヨーロッパでは多くの実証・商業プラントが操業されている。しかしながら、ほとんどの場合、消化プロセスで発生する電力はプロセスの副産物であることに注意する必要がある。焼却と同様、嫌気消化の主目的は廃棄物の減容であり、発電ではない。

実際には、廃棄物かどうか理由はともかく入手できる特定の燃料に合うように採用技術を選定しなければならない。本報告書の重要な要素は、第Ⅱ部（第4章）で示す燃料-技術マトリックスである。選定の基準、そして実証プロジェクトから得られた広範な知見は、第5章にまとめられている。

4. 実証プロジェクト

前記の技術の実際的な経験を代表させるために、付録1の概観リストで確認した97例から18の実証プロジェクトを選択した。第Ⅲ部で述べるこれらのプロジェクトの説明が本報告書の大部分を構成している。説明のために選択したプロジェクトは、実証プロジェクト又は商業プロジェクト（本報告書の目的では実証用と見なすことができる）のどちらかに関わらず、それぞれの特定技術分野で現在行われている活動のうち最も進歩した例を代表していると考えられる。

バガス（サトウキビ廃棄物）の燃焼のような多くの分野では、代替燃料源による発電は確立された商業行為であり、この例では製糖工場を操業し、廃棄物が未確認のまま蓄積するのを防ぎ、追加で熱や電力を得ることである。パルプ工場と製紙工場の場合も類似の行為が行われ、事実、有機原料を加工するように設計された大抵の大規模プラントも同様であるが、現在行われているその種の商業行為は、ここで説明する実証プロジェクトの場合と比べて一般にそれほど高度な開発が行われているわけではない。

いくつかのプロジェクトは開発の面を持つにも関わらず、理論的な研究というよりもむしろ実際の経験を代表していることを強調しておく。これらは、やがてはより大規模な実際の経験につながると期待できる。代替燃料技術の全分野は、今日精力的な調査が進められている。いくつかの分野は実際的な経験を生み出すほどまだ十分に開発されていないが、付録に示したものの以外のプロジェクトや、著者等がまだ確認していないプロジェクトがすぐに登場するだろう。

報告書の最後に図表リストと参考文献をあげておく。

第Ⅱ部 技術報告

1. はじめに

1.1 動機づけ

ここ数年、発電用の代替燃料に注目が集まっている。これには多くの理由がある。最も重要なものとして下記の理由を挙げられる。

- ・ 大気中への有害物質（SO_x、NO_x）の排出と土壌汚染（灰）を減らすための政策
- ・ 温室効果ガス（CO₂、CH₄）を減らすための政策
- ・ 市場自由化の結果として、公益事業の間やユーザーの間でさえ競争が行われ、より安価な燃料が求められている。
- ・ 化石燃料の輸入に対する依存性を減らすために燃料を多様化する。
- ・ 処分すべき廃棄物として処理するのではなく、残さ物を実際的に利用する。

もちろん、ここで議論するほとんどの燃料を使用する最大の理由は、恐らく、廃棄物を開放空気中で焼却したり埋め立てたりするよりも、より有効に害の少ない方法で処分したいという要求だろう。

1.2 範囲、目的と読者層

本報告書の目的は、発電用にバイオマスや廃棄物のような代替燃料を使用するための実際的な情報を提供することである。我々が現在主に頼っている化石燃料の代替又は補助として使用され、あるいは使用が考えられている燃料には、次のものがある。

- ・ 木材（森業木材、木材残さ及び短伐低木林材）
- ・ バガス（サトウキビ廃棄物）、オリーブ廃棄物、米の殻（モミガラ）、及びワラを含む農業残さ物
- ・ エネルギー作物（Miscanthus、Reed Canary Grass、及びSwitch Grass等）
- ・ 廃棄物（都市固体廃棄物、廃物利用燃料、スラッジ、及び肥料等）

最も注目されている技術には、次のものがある。

- ・ （同時）燃焼
- ・ ガス化
- ・ 熱分解（燃焼プロセスとガス化プロセスの前処理工程として）
- ・ 嫌気消化

考えられる読者層は、産業界と公益事業企業で活動している技術者と最終需要家である。対象となるその他の読者層としては、政策／意思決定者、コンサルタントや、製造業者が考えられる。今回の分析は、産業界と公益事業企業に次の事項を可能にする情報を提供する。

- ・ ある与えられたバイオマス又は廃棄物の燃料にとって利用可能な最良の技術を選

定する（燃料と技術は実証でカバーされるものに限られる）。

- ・ プラントの寿命サイクルを予想し、付随する保守と運転の特性をより良く理解する。
- ・ 資本コストと運転コストを予想する。
- ・ 技術面と経済面のフィージビリティ・スタディを実施する。

分析では、燃料の既存の利用方法と示唆される可能な代替方法の両方を確認する。これは既存の実証プロジェクト、及び読者層にとって実証例と考えることができる商業プロジェクトに限られ、計画中の（将来）プロジェクトは含めない。これはCADDETの通常の方法に従っているが、今回はいくつかの分野で現在非常に活発な研究が行われており、不都合な点もある。この種の研究は含まれていないため、著しい新たな開発を予想しなければならない。一部はその理由のため、本報告書の大部分は第Ⅱ部よりも第Ⅲ部、“実証プロジェクト”で述べられている。入手できる経験の例は限られ、将来各種の開発が計画されるのも当然予想されるため、今日までの経験に基づいて特定分野であまりに広く一般化することは好ましくないと単純に感じられた。現時点で代替燃料プロジェクトを企画し、あるいは企画を考慮する責任を持つ者にとって有用であろうと期待を込めてこの（第Ⅲ部の）情報を含めた、と言っている。

分析では、廃棄物とバイオマス燃料の使用を網羅している。廃棄物又はバイオマスとの同時燃焼を行う場合以外、化石燃料を使用する発電については網羅していない。分析では、熱変換技術と嫌気消化の両方を含めている。第Ⅲ部では実証例として全部で 18 例を説明し、これらは前記の熱と生物学的な変換プロセスをカバーしている。

1.3 報告書の構成

この報告書は次の3つの主要な部分から構成される。

第Ⅰ部：概要

第Ⅱ部：技術報告

第Ⅲ部：実証プロジェクト

第Ⅱ部（本パート）では、最新技術を説明し、実証プロジェクトに関連したその応用を述べている。第Ⅱ部の重要な特徴は燃料-技術のマトリックスであり、可能で現在存在する組合せの適合の完全な概要を示している（表 4.1）。

大抵の目的には、この燃料-技術のマトリックスを見れば本報告書を最も素早く使用できる。関心のある適合の灰色領域を選択し、選択されているプラント（第Ⅲ部）の一覧をチェックして関心のあるプロジェクト番号を確認して頂きたい。第Ⅱ部の最後にある第 5 章では、第Ⅲ部で議論する実証プロジェクトの概略を述べ、実証プロジェクトデータの本体から結論を引き出している。

1.4 定義

任意なものではあるが、本報告書ではプラント容量を示すために以下の記述を使用する。

熱変換ルート：

小規模： $< 3 \text{ MW}_{\text{el}}$ ；

中規模： $3 \text{ MW}_{\text{el}} - 20 \text{ MW}_{\text{el}}$ ；

大規模： $> 20 \text{ MW}_{\text{el}}$ 。

嫌気消化：

小規模： $< 10,000$ トン廃棄物／年；

中規模： $10,000 - 50,000 \text{ t/yr}$ ；

大規模： $> 50,000 \text{ t/yr}$ 。

2. 燃料

2.1 はじめに

本報告書では、代替燃料を次のように分類する。

- ・ 木材。これには、薄皮を含む林業で発生する木材や、産業用木材の残さ物、汚染された木材の残さ物（選択された破壊木材のようなもの）、及び短伐低木林材（SRC：Short-Rotation Coppice）が含まれる。
- ・ 農業残さ物（バガス、堅果と殻、オリーブ廃棄物、モミガラ、及びワラ）
- ・ 草本状のエネルギー作物（例えばMiscanthusとSwitch Grass）
- ・ 廃棄物。これには、都市固体廃棄物（MSW：Municipal Solid Waste）、タイヤ加工燃料（TDF：Tyre-Derived Fuel）、廃物利用燃料（RDF：Refuse-Derived Fuel）、スラッジ、野菜・庭園・果物（VGF：Vegetable, Garden and Fluit）廃棄物等が含まれる。

技術の選定に影響する（そして技術の選定によって影響される）燃料のパラメータとしては、以下のものがある。

- ・ 発熱量（灰分と共に水分含有量にも依存する。）
- ・ 灰の熔融温度（スラッジ化する燃料は、灰の融点が低い。）
- ・ 組成。例えば、燃料が重金属、塩素（腐食に関連する）、あるいは硫黄（二酸化硫黄の原因になる）を含むかどうか。

2.2 燃料の特性

本報告書で考察する燃料の若干の特性を表 2.1 にまとめておく。それぞれの種類の燃料にとって最も重要な特性を以下で考察する。

2.2.1 木材

短伐低木林材（SRC）を含む、新しく伐採した木材は、通常多量の水分を含み、典型的

には重量比で 50%程度である（湿り状態に基づく）。スカンジナビア諸国の場合、生の森業木材は、通常、熱を集中して利用する地域暖房プラントだけで使用されるか、かつ／又は流動床システムで、他のより乾燥した高発熱量の燃料と合わせて同時燃焼に利用される。

産業廃棄物の木材は、水分の含有量が少ない。例えば、選択された破壊木材や製材所で発生する乾燥した残さ物がある。その場合、水分の含有量は 5%程度に過ぎない。破壊木材のような汚染された木材の残さ物は、高い含有率で重金属を含んでいる可能性がある。通常これは木材上に残留している塗料による。これは煙道ガスの浄化手段の必要性に影響し、同時燃焼の速度にも影響する。

2.2.2 農業残さ物

バガス（サトウキビ廃棄物）は、通常、良く燃えるかなりかさの大きい物質である。しかしながら、ガス化の目的には、稠密化が必要である。灰分の含有量は典型的には 4%-11%（乾燥状態に基づく）であるが、灰の融点は高い。1,200°C-1,300°Cの間でスラグ化が起こる。

米の殻（モミガラ）も灰分の含有量が多い（最大 20% d.b.）。しかも、殻は研磨性が強く、粉碎のコストが高い。燃焼中にスラグ化と汚れが発生する可能性がある。米の殻のガス化は過去に問題を引き起こしたことがある。スラグ化を行うガス化装置は、より良い機会を提供できる可能性がある。

ワラは灰の融点が低い。これは 550°C-600°Cという低温で粘りつくようになる可能性がある。これは特に沿岸地域で塩素含有量が多く、発電プラントの熱交換器で腐食を引き起こすことがある。例として、デンマークの数基のワラ焚きプラントがある。塩素含有量は、沿岸地域と内陸地域で 5 倍程度変化する可能性がある。

2.2.3 エネルギー作物

Miscanthusはワラと類似した特性を示し、ワラと同様、灰の融点は低い。しかしながら、灰分の含有量は、一般にワラの場合よりも少ない。いくつかのMiscanthus種（しかしMiscanthus Giganteusは違う）は、ワラよりも塩素とカリウムの含有量が少ないことが報告され、そのためボイラーの腐食と汚れを減らせる。細断したMiscanthusのエネルギー密度と流動特性は、細断したワラよりも良いことが明らかである。Reed Canary GrassとSwitch Grassも組成は類似しており、両方共灰分の含有量が多い可能性がある（6% d.b.）。スウェーデンでReed Canary Grassを燃料として広範に分析したところ、収穫を遅らせると灰分と塩素の含有量は減少するが、灰の融点は著しく上昇した。このため、煉瓦型豆炭（briquette）、ペレット及び燃料粉末に改善するのに非常に適している。春に収穫すると、より乾燥したバイオマスが得られるが、収量は夏以降に収穫する場合よりも 25%少なくなる可能性がある。

2.2.4 廃棄物

都市固体廃棄物（MSW）は灰分と水分が多い。これは発熱量が小さく、典型的には 8-12 GJ/t 程度である。過去に、湿った緑色廃棄物を除いて発熱量を増加させたことがあった。この方法で可燃成分の多い廃物利用燃料（RDF）が得られ、発熱量は 14 GJ/t になった。MSW は重金属も多く含んでおり、そのため煙道ガスを広範に浄化する必要がある。

タイヤ加工燃料（TDF）は硫黄の含有量が多く、煙道ガスの浄化プロセスで硫黄除去が必要になる。ほとんどの発電プラントでは少なくともいくつかの脱硫設備が据え付けられているため、TDF の同時燃焼は可能性のあるオプションである。プラントは溶融物を扱えなければならない。

廃物利用燃料（RDF）は、綿毛状のものとペレット化したものが利用できる。RDF ペレットは、各種の燃焼プラントで燃やしたり、流動床システムでガス化できる。RDF は、紙とプラスチックの割合が多いため、通常、発熱量が大きい。しかしながら、塩素と硫黄の含有量にはいくらか注意を要する。低温でスラグ化が起こる可能性もある。

スラッジは典型的な場合、水分含有量と灰分が多い。通常これは、流動床プラントで同時燃焼させるか、移動格子システムで燃焼させる。製紙スラッジも微粉炭焚き火力プラントで同時燃焼させることができる。

野菜・庭園・果物（VGF）廃棄物は典型的な場合、水分含有量と灰分が多い。

2.3 混 合

燃料を混合すれば、特定のプロセス技術の要求を満たすために燃料の特性を改善する機会が得られる。そうする場合、以下のパラメータに注意を払う必要があるだろう。

- ・ 水分含有量（発熱量）
- ・ 灰の融点を上昇させる共融混合物
- ・ 灰の特性を改善させる灰の組成
- ・ 空気中への排出物
- ・ 安価な残さ物とより高価な従来の燃料又はエネルギー作物を混合することによる経済性

表 2.1 燃料特性

燃 料		特 性				
		およその分析値[wt%]				低位発熱量 [GJ/t、湿り状 態に基づく]
		水 分 w.b.	揮発成分 d.b.	灰 分 d.b.	固定炭素 d.b.	
木 材	森業木材	15-50	60-70	1-2	30-40	9-16
	木材残さ（汚染なし）	5-50	60-85	1-3	10-40	9-17
	木材残さ（汚染あり）	5-15	60-80	1-3	20-40	16-17
	SRC	30-50	60-70	2	30-40	15-17
農業残さ物	バガス	40-60	75-85	4-11	12-15	19 HHV
	堅果と殻	10-20	82	6	18	20 HHV
	米の殻	7-10	40-65	18-20	16-40	17-20 HHV
	ワラ	15-25		4-10		13-15
エネルギー作物	Miscanthus	10-19	80-86	2-3	11-18	14-16
廃棄物	Reed Canary Grass	10-15		5-9		12-14
	MSW	32-38		32-38		8.2-10
	TDF	0.4	68	3.8	29	16.2(HHV)
	RDF	5-32		9-16		12-21
	黒液抽出（De-ink）スラッジ／樹皮	50-65		48		4-6 (HHV)
	清澄化スラッジ／樹皮	50-65		12		7.5-11 (HHV)
	VGF	54		18		6.9

- [1] Knoef, H.A.M., バイオマスの固定床ガス化、フェーズ 2: システムの定義と概念設計、BTG, Enschede, 1996.
- [2] Faaij, A.P.C., バイオマスと廃棄物からのエネルギー、ユトレヒト大学論文、Utrecht, 1997.
- [3] TU Vienna, Biobib、インターネットアドレス：http://edvl.vt.tuwien.ac.at/ag_hofba/biobib/biobib.htm, January 1997.
- [4] Venendaal, R., Haren, P.O. van, 米国への研究旅行、大規模発電のためのバイオマスと廃棄物の熱変換、BTG, Enschede, 1997.
- [5] Knoef, H.A.M., Leenders, M.E.T., 汚染木材残さの環境に優しい処理、BTG, Enschede, 1991.
- [6] NRI, バイオマスの特性の把握；発表 1997.

マトリックス

特 性						
最終分析値[wt% d.b.]						文 献
C	H	N	O	S	Cl	
48	5.5-6.5	0.2-0.4	45	0-0.1		[1], [2], [3]
50	6	0.9	43	0-0.2	0-0.1	[1], [2], [4]
40-50	5-6	0.1-0.7	40-45	0-0.2	0-0.2	[1], [5]
47-49	5.5-6	0.3-0.4	44-47	0.03-0.05	0-0.15	[1], [3]
48-50	6	0.4-1.8	44	0-0.1		[6]
52	5	0.2-1.2	42	0-0.1		[6]
50	5-6	0.5-1	44-45	0.02-0.4		[6]
47	6	0.3-0.5	42	0.06	0.5	[2], [7]
45-50	5.5-7.5	0.4-0.6	39-45	0.01-0.2	0.03-0.5	[8]
45-48	5.7-6	0.7-1.4	40-45	0.08-0.14	0.06-0.25	[8], [3]
34-38	4.5-5	0.7-0.9	22-23	0.15-0.3		[9]
				1.8		[4]
46-48	6-6.5	0.5-0.7	29-30	0.05-0.3		[9]
29	3.5	0.5	19	0.17		[4]
52	5.7	0.9	29	0.9		[4]
43	5.4	1.8	32	0.2		[10]

- [7] Venendaal, R., Berg, D. van den, Zuid-Holland Zuid地域におけるverge grassのための熱処理オプションの技術、財政／経済性分析、BTG, Enschede, 1995.
- [8] Brown, A.C., Venendaal, R., ヨーロッパにおけるエネルギー作物の概観、オランダのための国家報告書、BTG, Enschede, 1996.
- [9] Venendaal, R. et al., 廃棄物のガス化、Thermoselect及びTPS/Greveの各施設の評価、BTG/KEMA, 1994.
- [10] Berg, D. van den, Venendaal, R., オランダVGF廃棄物の組成と特性の事前研究、BTG, Enschede, 1994.

3. 変換ルート

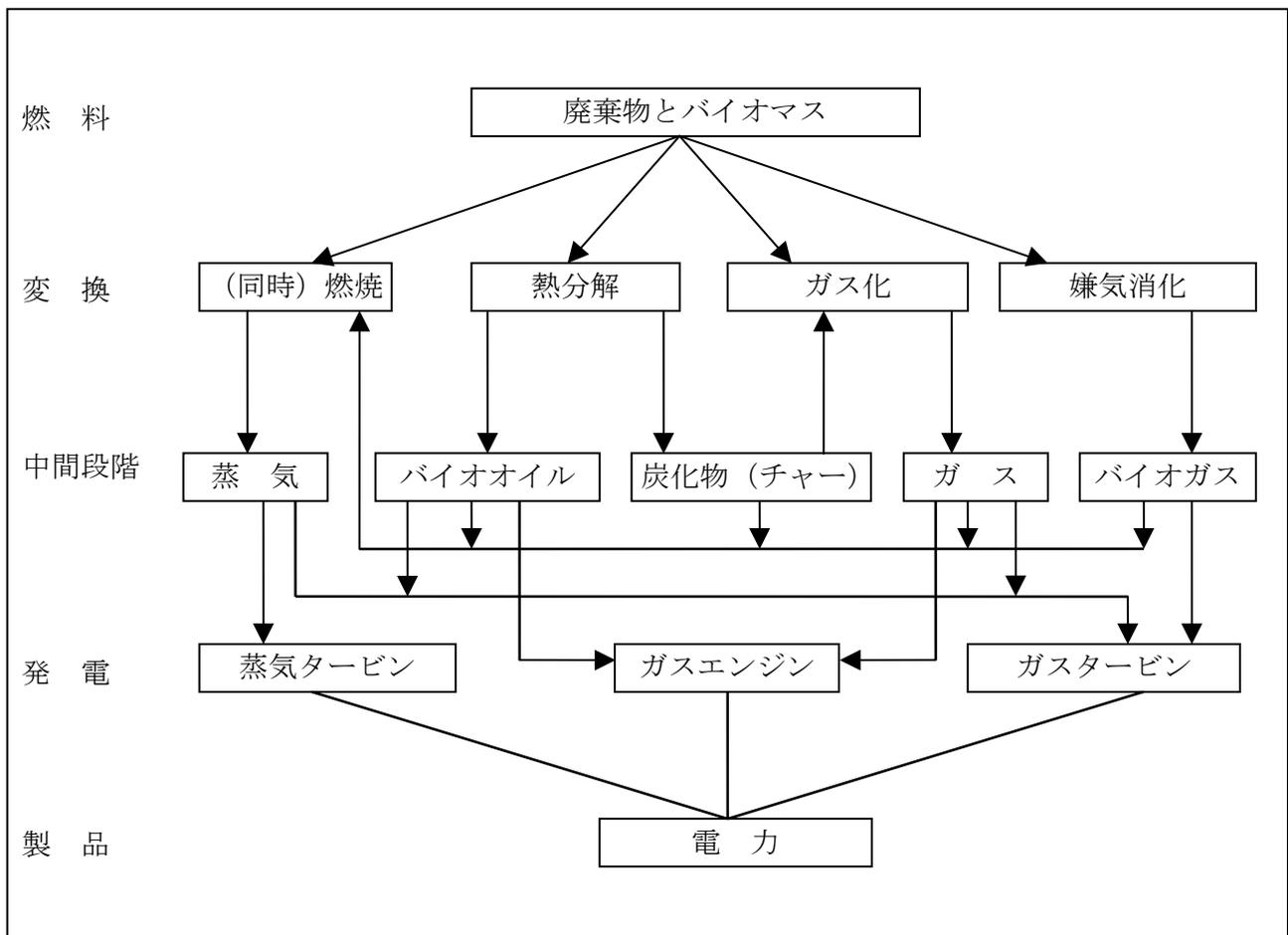
3.1 はじめに

発電分野に代替燃料の変換を導入するにあたり、最も注目を集めている技術には、以下のものがある。

- ・ (同時) 燃焼
- ・ ガス化
- ・ 熱分解 (変換とガス化プロセスの前処理工程として)
- ・ 嫌気消化

最初の3つは熱変換技術である。最後は、それ自身、生物学的な変換技術である。しかしながら、発生するバイオガスは発電のために使用でき、例えばガスエンジンや蒸気サイクルで利用可能である。これらの技術の概要を図 3.1 に示す。内容の説明は、以下の文節で行う。

図 3.1 本報告書で網羅されている変換ルートの概要



燃 焼

バイオマス又は廃棄物の燃焼は実証された技術である。近代的な大規模プラントでは、都市固体廃棄物の焼却を発電と組合せ、正味電気出力の大きいものが実現されている（最大 45 MW_{el}）。新しく開発されたものとして、既設発電プラントの化石燃料の流れと組み合わせたものがあり、単独燃料システムよりも全体効率が向上する。専用発電プラントにおけるエネルギー作物の燃焼は、開発途上にある。いくつかの実証プロジェクトが進められているが、本報告書に含めるにはまだ非常に早すぎる段階である。発電のための木材の燃焼は、しばしば他種のバイオマスや廃棄物と組合わせて行われ、実証された技術である。

多くの例が認められ、特にスカンジナビア諸国と米国に見られる。米国における2つの例として、以下のものがある。

Dow Corning社の発電所（短伐林業木材と廃木材）

ウィスコンシン州、La CrosseのNorthern States Power社のFrench島発電所（バブリング流動床、木材/RDF、プロジェクト番号13）

同時燃焼

同時燃焼又は同時焚きは、その点以外は従来の発電所で石炭や他の化石燃料と共に廃棄物又はバイオマスを焚くための特別な形態の燃焼である。この応用のために、しばしば燃料のサイズを小さくする必要がある。この方法で焚くことができる廃棄物又はバイオマスの量をエネルギー量にして燃料全体の最大30%までにすることが期待される。正確な量は、同時燃焼物の汚染の程度、発熱量及び活性度によるだろう。

同時燃焼の実証プロジェクトの数例をあげると、以下のものがある。

- ・ オランダ、GelderlandのEPON木材/石炭焚き発電プラント（プロジェクト番号4）
- ・ デンマークのGrenaa石炭/ワラ同時燃焼プラント（プロジェクト番号9）
- ・ 米国のTVA Colbert化石燃料プラント（木材残さ/石炭）
- ・ 米国のGreenidge発電プラント（NYSEG；製材所残さ物/石炭）

商業目的の産業用発電（熱併給）プラントとしては、例えば以下のものがある。

- ・ フィンランドのKangas製紙工場にあるRauhalahhti木材/泥炭プラント（プロジェクト番号3）
- ・ スウェーデンのPerstorp AB（石炭、泥炭、廃木材、産業廃棄物）

全ての（同時）燃焼システムでは、蒸気サイクル（蒸気ボイラー、蒸気タービン・発電機）を使用して発電する。

ガス化

ガス化技術は、コスト上有効で環境面から受け入れられる廃棄物の再利用と高効率のバイオマス変換を行う潜在的可能性を持っている。バイオマス及び/又は廃棄物をガス化するために、既に多くの実証プラントが建設されている。結果として得られた発粗ガスをガ

スエーデンやガスタービンに使ったり、ボイラーでの（同時）燃焼に使用できる。この発粗ガスを高効率の統合ガス化複合サイクル（IGCC）ユニットーガスタービンと蒸気タービンの組合せで使用することは、挑戦的な課題として残されている。ガスをその用途に適した状態にするためのガス浄化研究に関して現在多くの努力が行われている。将来、この技術が大規模に適用できるかどうか判断することが可能なはずである。

バイオマスのためのガス化実証ユニットの例としては、以下のものがある。

- ・ スウェーデン、VärnamoのCFBガス化プラント（プロジェクト番号2）
- ・ 米国、ハワイ州、マウイ島のバガスのためのRenugasガス化装置（プロジェクト番号6）
- ・ フィンランド、TampereのEnviropower加圧流動床ガス化プラント
- ・ 米国、バーモント州のBattelle蒸気ガス化プラント

廃棄物のためのガス化実証プラントの例としては、以下のものがある。

- ・ イタリア、FondotoceのThermoselect（プロジェクト番号10）
- ・ イタリア、GreveのTPS/Ansaldo Aerimpianti RDF大気圧CFBガス化装置（プロジェクト番号12）

それらに加え、エネルギー作物をガス化するための多くの実証プラントがイタリアと英国で開発中である。

熱分解

熱分解は、酸素がない状態で行われる熱変換プロセスであり、固体、液体そして気体を発生させる。発電という意味合いでは、バイオマス及び／又は廃棄物の流れを（同時）燃焼やガス化するための前処理工程として熱分解を使用できる。中間生成物は性質がはっきりしており、発電に使用する新たな機会が得られる。

実証プロジェクトの例としては、以下のものがある。

- ・ Siemens Schwell Brenn Verfahren（MSWの熱分解後に高温燃焼を行う。）
- ・ Thermoselect®（MSWの熱分解後に高温ガス化を行う。発粗ガスを複数回使用する。プロジェクト番号10で説明されている。）

嫌気消化

嫌気消化（発酵）は、水分を含む特定種類の廃棄物とバイオマスに対して魅力的な変換方法である。原理的に、バイオガスは発粗ガスと同じ方法で処理（そして最終的に天然ガスと同じ品質まで改善）した後に使用できる。MSWに基づく埋め立てガスの発生と利用も、発電のための一オプションになる可能性がある。ヨーロッパでは多くの実証・商業プラントが操業されている。しかしながら、ほとんどの場合、消化プロセスで発生する電力はプロセスの副産物であることに注意する必要がある。廃棄物の焼却と同様、消化の主目的は廃棄物の処理であり、発電ではない。

副産物として発電を行う嫌気消化プラントの数例をあげると、以下のものがある（典型的には 200 kW_e以下）。

- ・ オランダ、Bredaのせり売りではじかれた野菜と果物の廃棄物を嫌気消化する事業（プロジェクト番号 15）
- ・ スイスの水分を含むバイオマス／廃棄物の流れを嫌気消化するためのBuehler Kompogas®プラント（プロジェクト番号 16）
- ・ デンマークのRibe Biogas CHPプラント（プロジェクト番号 17）

4. 燃料と技術のマトリックス

元々、燃焼技術は特定の燃料を使用するように設計されているため、燃料と技術を特別な組合せで使用しなければならない。世界中のプラントで認められる燃料と技術の実証された組合せの選択を表 4.1 の燃料－技術マトリックスに示す。他の実証された組合せは、世界中のおよそ 100 ヶ所のプラントをあげた、更に広範囲の概観でまとめられている（付録 I を参照）。本報告書の第III部では、実証プロジェクトとして説明するために、これらの中から 18 ヶ所のプラントを選択した。

この燃料－技術マトリックスは、付録 I の概観リストと第III部の事例研究に基づいて同定した組合せだけを代表していることに注意しなければならない。他の組合せも可能であるが、本報告書では考えない。

マトリックスでは考えていない他形式の燃焼技術で専焼が行われる可能性もある。しかしながら、これらの技術は通常主として熱発生を目的にした小規模ユニットに関係し、発電目的ではない。

表 4.1 燃料一

このマトリックスに記載されている番号は、概観リストの中の番号を指す。下線付の番号は、第

燃 料		技 術					
		熱変換					
		燃 焼					
		専 焼				化石燃料（泥炭を含む）との同時燃焼	
		GF	PFC	FB		PFC	FB
BFB	CFB			BFB			
木 材	森業木材	2, 3					
	木材残さ（非汚染）	8, 9, <u>11</u> , 12, 33		16, 29, 34	17, 18, 19	31, 32	22- <u>27</u>
	木材残さ（汚染）	36, 81				<u>35</u>	
	SRC						
農業残さ物	バガス			41			
	オリーブ廃棄物			43			
	ジャガイモ廃水						
	米の殻			<u>46</u>			
	ワラ	<u>47-50</u>				52	
エネルギー作物	Miscanthus					53	
	Switch Grass					54	
廃棄物	MSW	63, <u>65-68</u>	64				
	TDF	70				69	
	RDF			<u>73</u>	72		
	黒液抽出（De-ink）スラッジ／樹皮	81		<u>75</u> , 76, 82			
	清澄化スラッジ／樹皮	74		<u>75</u>			
	汚水スラッジ						
	VGF						
	肥料／家禽	94, 95					
	化学薬品／亜炭						
屠殺場廃棄物							

技術マトリックス

Ⅲ部で説明する実証プロジェクトを指す。

							生物学的変換
ガス化						熱分解	嫌気消化
(ほぼ) 大気圧			加 圧				
CFB	固定床	FB		固定床	FB		
		BFB	CFB		BFB	CFB	
	1					5	
28, 21	10		15			14	97
	37, 38	40	39				
					42		
							44
51							
	62						62, 64 55-61
			71	96			
							77-80
							83, 84, 85
							89-93
				96			
							86, 97

5. 実証プロジェクトの選択と結論

5.1 はじめに

5.1.1 選択の基準

本報告書の目的は代替燃料による発電を説明する実例を包括することであり、第Ⅲ部で説明する 18 ヶ所の実証プロジェクトを選択するために、付録 I の概観リストに次の判断基準を適用した。

- ・ 燃料の種類
- ・ 適用される技術
- ・ 規模（小／中／大）
- ・ 状況（実証又は商業化）
- ・ 国（できればIEA加盟国）

以上の判断基準を慎重に考慮した結果、以下のプラントを選択した（表 5.1）。

5.1.2 提供される情報

それぞれの実証プロジェクトに対して以下の情報を提供する。

- ・ 一般的説明
- ・ 技術面（燃料の種類、技術、設備）
- ・ 環境面（大気中又は土壌への排出）
- ・ 運転面（性能、柔軟さ、信頼性）
- ・ 経済性（資本費、運転費、処理した廃棄物 1 トン当たり kWh 当たりの料金表価格）

ここで示す情報は設計上の性能、ある期間にわたって平均した性能又はある期間の典型的な性能を代表することに注意しなければならない。任意の特定時点での実性能は、燃料の変動のような因子があるため、かなり違ったものになる可能性がある。

表 5.1 第三部で説明する実証プロジェクト

“事例”は第三部の章の番号を指す。“番号”は付録Iの概観リストの番号を指す。

事例	番号	燃料	容量	技術
1	<u>11</u>	木材残さ	0.92 MW _{el} /0.9 MW _{th}	GF水冷、SB (28 bar、420°C)
2	<u>14</u>	木材残さ	6 MW _{el} /9 MW _{th}	CFB高圧 (22-24 bar) ガス化 (バイオフローのIGCC)
3	<u>27</u>	木材残さ/泥炭	87 MW _{el} /205 MW _{th}	FB (Tampella Power)、SB (136 bar/533°C)
4	<u>35</u>	破壊木材/石炭	600 MW _{el} /20 MW _{el} (木材から)	微粉化燃料の同時燃焼、SB
5	<u>38</u>	SRCヤナギ	150 kW _{el}	固定床ガス化 (下降流)、内燃エンジン
6	<u>42</u>	バガス/木材	3-5 MW _{el}	加圧 (20 bar、850°C) 空気/酸素ガス化装置 (IGT、Renugas)、BFB、ガスタービン (IGCC)
7	<u>46</u>	米の殻	29.5 MW _{el}	FB (Zurn)、SB (100 bar、510°C)
8	<u>47</u>	ワラ	2.6 MW _{el} /7 MW _{th}	GF、SB (61 bar、450°C)、CHP
9	<u>51</u>	ワラ/石炭	20 MW _{el} +60 MW _{th}	CHP、CFB同時燃焼 (Foster Wheeler)、SB (92 bar、505°C)
10	<u>62</u>	MSW	800 kW _{el}	熱分解+HT固定床ガス化 (Thermoselect)
11	<u>65</u>	MSW	42 MW _{el}	GF、SB
	<u>66</u>	MSW	122-139 MW _{el}	MSW焚きからの蒸気が過熱され (100 bar、400°Cから最大 100 bar、525°Cへ)、SBでの発電に使用される。
12	<u>71</u>	RDF	6.7 MW _{el}	CFBガス化 (大気圧、870°C)
13	<u>73</u>	RDF/木材	2×14 MW _{el}	FB、SB
14	<u>75</u>	清澄化スラッジ、黒液抽出 (de-ink) スラッジ、樹皮とTDF	94 MW _{th} (24 MW _{el} 相当)	FB、SB
15	<u>84</u>	VGF	170 kW _{el}	AD (Paques)、ガスエンジン
16	<u>85</u>	VGF	62.5 kW _{el} /150 kW _{th}	AD (Kompogas)、好熱性、ガスエンジン
17	<u>89</u>	肥料/有機廃棄物	43 kW _{el} /1.5 MW _{th}	AD、ガスエンジン
18	<u>96</u>	化学廃棄物、亜炭、プラスチック等	20 MW _{el}	固定床+巻き込み流ガス化

のために選択したプラント

プラント	場 所	状 態	備 考
Wood Industry Schijndel	NL	Cp	開始：1997年4月
Värnamo	SE	D	1996年以降Foster Wheelerが所有
Rauhalahhti	FI	Cp	140 MW _{th} 地域暖房、65 MW _{th} プロセス蒸気
EPON Nijmegen	NL	Cp	木材と石炭を別々に破砕
SRC/Gazel	BE	D	ピーク時間帯に運転（1,000 h/yr）
ハワイ商業砂糖会社	米国、ハワイ州	D	組合せ運転の予定：1997年末
Marsh	米国、カリフォルニア州	Cp	その種のものとして世界最大
Rudkøbing	DK	Cp	開始：1990年
Grenaa (Midtkraft)	DK	Cp	開始：1992年
Fondotoce	IT	D	商業プラントで2.5 MW _{el}
HVC Alkmaar	NL	Cp	
AZN Moerdijk	NL	Cp	1997年2月以降運転中
Greve (TPS)	IT	D	最近、ENELが本プラントを購入。
French島 (NSP)	米国、ウィスコンシン州	Cp	元々1940年代の時代物の給炭機。1987年に現代の技術を適用。
Champion International	米国、テキサス州	Cp	開始：1950年。1994年に現代の技術を適用してFBに改造。
Breda	NL	Cp	
Bühler AG	CH	Cp	
Ribe	DK	Cp	ガスをパイプラインで近在のCHPプラントに輸送している。
Schwarze Pumpe	DE	Cp	

5.2 知見

この章の大部分では、一部は著者等の経験に基づき、一部は第Ⅲ部で説明する実証プロジェクトに基づいている結論を述べる。本報告書の範囲と対象読者層を念頭に置き、知見を各技術ごとに説明する。更に詳しい知見については、参考文献にあげた他の評価と研究を参照して頂きたい。

5.2.1 (同時) 燃焼

一般に、各種システムでの燃焼と流動床システムでの同時燃焼は、化石燃料とバイオマス/廃棄物燃料の両方に対して、良く確立された技術であるといえる。以下の文節では、主要な(同時)燃焼技術の最も顕著な特性を見ていくことにする。

格子炊きシステム

特に格子炊きシステムは、スラグ形成燃料を含む広範な燃料に対して非常に信頼性が高く、堅牢であることが実証されている。格子炊きシステムでは、複雑さがそのコストに大きく影響する。もしMSWを対象に考え、排出限度がそれと同程度に厳格な場合、例えばドイツとオランダでは、湿った煙道ガスの広範な浄化システムのために資本費のほぼ半分を使わなければならない可能性がある。以下の実証プロジェクトに例を見ることができる。

- ・ オランダの産業用移動格子炊きCHPプラントにおける木材残さの小規模燃焼 ($0.9 \text{ MW}_{\text{el}}/0.9 \text{ MW}_{\text{th}}$ 、プロジェクト番号 1)
- ・ デンマークの格子炊きCHPプラントにおけるワラの中規模燃焼 ($2.6 \text{ MW}_{\text{el}}/7 \text{ MW}_{\text{th}}$ 、プロジェクト番号 8)
- ・ オランダの前方運動を伴う往復動格子によるMSWの大規模燃焼 ($42 \text{ MW}_{\text{el}}$ 、プロジェクト番号 11)

流動床システム

世界中で数百基の流動床システムが商業運転されていると考えられる。スカンジナビア、特にスウェーデンとフィンランドでは、流動床プラントが多数設置されている。

流動床システムは、各種の燃料を同時燃焼するために良い性能を示す。最適な燃焼条件(温度分布が平坦、良好な混合)のため、高度の焼却が可能でNO_x排出が少ない。流動床に石灰石を注入すれば、SO_xの排出を容易に低減できる。

ほとんどのプラントでは、比較的安価な乾式又は半湿式の煙道ガス浄化系が流動床システムと合わせて使用される。結果的な固体残さ物の品質は湿式煙道ガス浄化システムのものとは異なっており、これらの固体残さ物の処分又は使用(例えばコンクリートや道路建設)に適したものになっている。システム形式の選定は、地域/国内の規則によってかなり決定されるだろう。高発熱量の他の燃料と一緒に燃やすことを前提とすれば、液体や湿った燃料も流動床システムで扱うことができる。

流動床システムで各種燃料を同時燃焼させる例は、以下の実証プロジェクトに見られる。

- ・ フィンランドの 87 MW_{el}/205 MWth 流動床システムにおけるバイオマスと泥炭の大規模同時燃焼（プロジェクト番号 3）
- ・ 米国、ウィスコンシン州の 2×14 MW_{el} 流動床プラントにおける RDF と木材の中規模同時燃焼（プロジェクト番号 13）
- ・ 米国、テキサス州の産業用 94 MWth（24 MW_{el}相当）流動床施設におけるスラッジ、樹皮及び TDF の大規模同時燃焼（プロジェクト番号 14）

それらに加え、カリフォルニア州で行われている米の殻（モミガラ）の大規模（29.5 MW_{el}）専焼も注目する必要がある。

微粉炭プラントにおける同時燃焼

微粉炭焚き発電プラントにおける木材残さの同時燃焼は、サイトでいくらか修正を加える必要があるが、高い正味発電効率で木材を燃焼させる費用対効果の面で優れた方法の一つであることが明らかである。通常、現代の技術をいくつか適用するだけで済む。新たな開発は、この場合も他の燃料の同時燃焼に焦点を当てている。これらには、RDF や製紙スラッジのような安価な残さ物や、Miscanthus や Switch Grass のような比較的高価なエネルギー作物がある。以下の実証プロジェクトが 2 つの代表例である。

- ・ オランダの 600 MW_{el} 微粉炭焚き火力プラントにおける選択された木材残さの大規模同時燃焼（プロジェクト番号 4）
- ・ デンマークの 20 MW_{el}/60 MWth CHP プラントにおけるワラの中規模同時燃焼（プロジェクト番号 9）

5.2.2 ガス化

発電と組合わせたガス化は、木材、バガス、炭化MSWそしてRDFでは実証されているが、他の燃料も少なくとも潜在的可能性としては使用できる。まだ、限られた数のガス化プロセスしか商業段階に達していない。主な理由は、ガス化に用いる燃料の要件（大きさと形状に関するもの）が厳しいこととガスの浄化（タール除去）である。

選択されたプロジェクトから、大気圧と加圧状態で行われるガス化のために最も有望な燃料の形は、かさのある燃料の煉瓦型豆炭（briquette）又はペレットであるように思われる。MSWのような困難な燃料については、スラグ形成ガス化装置が非常に有望であると思われる。

炭化MSWの中規模、高温ガス化では、広範で高価な湿式浄化システムが適用され、大気中への排出が非常に少なくなっている。それほど困難ではない燃料を使用する小規模プラントについては、湿式ガス浄化システムはタールを含む凝縮水が生じるための不利はあるとしても、単純なシステムが好まれる。

加圧ガス化は、大規模ガス化プラントの一オプションである（文献によると、恐らく 50-70

MW_{el} 以上)。

エネルギー効率、環境面と経済面の潜在的な利点を考えれば、近い将来、ガス化技術を開発するために一層努力が行われると予想される。このことは、世界中でガス化システムの数が増えていくことを意味する。実証プラントにおける比較的高いコストは、各種商業ユニットの初号機が作られた後に競合可能な水準まで下がるだろうと期待できる。

実証段階のガス化プロジェクトの例には、以下のものがある。

- ・ スウェーデン、Värnamoの $6 MW_{el}/9 MW_{th}$ CFB高圧ガス化装置における木材残さの中規模ガス化 (プロジェクト番号 2)
- ・ ベルギーの $150 kW_{el}$ 固定床ガス化システムにおける短伐低木林材の小規模ガス化 (プロジェクト番号 5)
- ・ 米国、ハワイ州の加圧空気/酸素ガス化装置におけるバガス煉瓦型豆炭の中規模ガス化 ($3-5 MW_{el}$) (プロジェクト番号 6)
- ・ イタリア、Fondotoceの高温固定床ガス化装置における炭化MSW煉瓦型豆炭の中規模ガス化 ($800 kW_{el}$) (プロジェクト番号 10)
- ・ イタリア、GreveのRDFペレット使用ガス化プラントにおける中規模ガス化 ($6.7 MW_{el}$) (プロジェクト番号 12)
- ・ ドイツ、SVZ Schwarze Pumpeの以前の石炭ガス化プラントにおける廃棄物と亜炭煉瓦型豆炭の大規模固定床・巻き込み流ガス化 (プロジェクト番号 18)

5.2.3 熱分解

廃棄物の熱分解は、現在主に、高温燃焼又はガス化のプロセスに先立つ前処理として行われる。炭化された製品が均一であるため、熱変換プロセスをより良く管理できる。より清浄及び/又はより良く制御されたシステムを目指して中長期的に一層の資金面の広がり期待できるため、前処理工程としての熱分解の重要性は増加するだろう。

将来の開発では、以下のものが行われる可能性がある。

- ・ 同時燃焼を目的とした木質バイオマスの低速熱分解 (炭化)
- ・ ディーゼルエンジン駆動方式のような小型発電プラント又は大規模微粉炭焼き発電プラントのどちらかでバイオオイルを (同時) 燃焼させるための、高速熱分解 (バイオオイルの生産)

前処理工程として熱分解を使用するプロセスの例としては、以下のものがある。

- ・ イタリア、fondotoceにおけるMSWの中規模炭化とその後に行われる高温ガス化 (プロジェクト番号 10)
- ・ ドイツにおけるMSWの中規模炭化とその後に行われる高温燃焼 (付録 I、概観リストの 64 番)

5.2.4 嫌気消化

特に、湿ったバイオマスと廃棄物の嫌気消化は、商業的に実証された技術である。ヨーロッパだけで、少なくとも（小規模ユニットを含めて）1,700基のプラントが現在操業されていると考えられる。これらのプラントは発電容量が限られている（ $< 200 \text{ kW}_{\text{el}}$ ）。この理由は廃棄物の流れを処理することに最大の重点を置いているためで、電力は送電系統に売電して処理の電気代を減らせる有効な副産物と考えられている。嫌気消化システムで湿ったバイオマスを処理できれば、熱変換工程のための高価な乾燥作業を避けることができる。

実証プロジェクトに含まれる例としては、以下のものがある。

- ・ スイスにおける熱電併給事業で $62.5 \text{ kW}_{\text{el}}/150 \text{ kW}_{\text{th}}$ を発生するVGFの中小規模嫌気消化（4,000-20,000 t/yr）（プロジェクト番号 16）
- ・ オランダ、Bredaにおける中規模（15,000-30,000 t/yr）嫌気消化（プロジェクト番号 15）
- ・ デンマーク、Ribeにおける豚と牛の肥料及び有機産業廃棄物の大規模（140,000 t/yr）嫌気消化（ $43 \text{ kW}_{\text{el}}/1.5 \text{ MW}_{\text{th}}$ ）（プロジェクト番号 17）

5.3 まとめ

代替燃料に関する最近の開発に焦点を当てて議論したこの報告書では、それらの技術が最近になって関心を集めているような印象を与えるかもしれない。でも、1920年という早い時期に出版された参考文献[11]の題名を一目見れば、これらの技術が全くそんなものでないことがわかるだろう。むしろ、その本の内容によると、当時検討されていた代替燃料の多くは今日考えられているものと同じである。

とはいっても、最近になって代替燃料の関心が非常に高まっているのも事実であり、今日利用できる技術は、ずっと昔に可能だったものよりも長足の進歩を遂げている。もちろん、今日の社会が抱えている要求は非常に差し迫ったものである。

本報告書が現在と将来、代替燃料を使用するために有効に役立たんことを希望する。

第Ⅲ部 実証プロジェクト

6. 実証プロジェクト

6.1 木材焚きCHPプラント（オランダ、Schijndel）

はじめに

Houtindustrie Schijndelは、オランダで最大の木材加工事業の1つである。同社は契約に基づいて木材を加工している（ノコギリによる裁断、切削加工、外形加工、乾燥、ラッカー塗装等）。1997年はじめ、小規模のCHP蒸気ボイラー（ 1 MW_{el} 、 1 MW_{th} ）を設置した。同プラントは、低品質の木材と木材残さを燃焼させる。発生する熱は、乾燥と空間の暖房に使用される。発生する全ての電気は、地方の電力会社であるPNEMに参考レートで売電される。

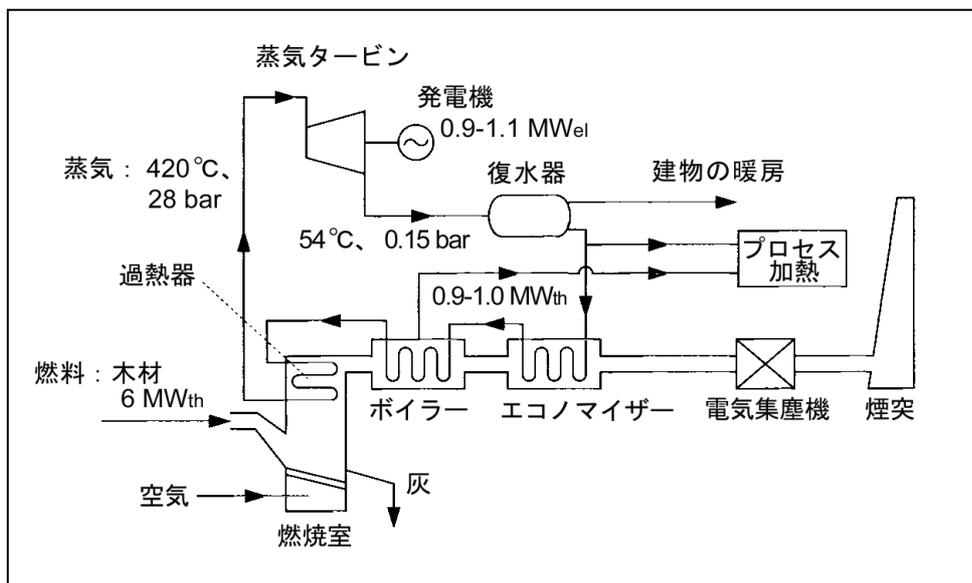
本CHPプラントは、世界中で既に175基以上のバイオマス燃焼システムを据え付けているベルギーの製造者Vynckeが開発と据え付けを行った。これらのシステムの約75%は木材廃棄物を燃焼させ、残りのシステムは多様な農産物残さ物を使用する。システム規模は $0.3\text{--}5\text{ MW}_{\text{el}}$ の範囲である。

プロセスの説明

はじめに

プロセスの概要を図6.1.1に示す。

図 6.1.1 Schijndelプラントのプロセスフロー



燃 料

残さ物（削りくずとおがくずのような）を木材加工区域から取り出し、空気圧を使用してサイロに輸送する。熱損失を減らすために、輸送用空気は清掃後再使用される。長さが30 mmよりも大きい木片は細断される。

本CHPプラントは、水分含有量20%（乾燥状態に基づく）[1.1]、発熱量約15.5 MJ/kgの木材残さを1,400 kg/h（9,800 t/yr）程度消費する。

燃焼ユニット

移動階段格子を使用する。この格子と燃焼室の壁は、閉回路に水を流して冷却する。水冷却回路の膨張を制御するために、格子の温度は約110°Cに維持される。

燃焼室内の水管の枠は、数層の断熱・耐火コンクリートで覆われ、ラッカー塗装した鋼材で仕上げられている。水管に接続した蒸気ドラムが膨張容器の役割を果たし、この容器から低圧蒸気を抜き出して燃焼空気の予熱に使用している。

主要なプロセス制御パラメータは、格子と壁内を流れる水の流量、格子の遅れ時間、及び燃焼室に送り込む空気の流量である。

水冷固定格子の間に取り付けられている鋳鉄格子を動かすことによって燃料を格子アッセンブリ上で移動させる。アッセンブリ全体は複数の部分に分割され、遅れ時間、燃料床の高さ及び燃焼空気の量を個々に調節できる。

この施設は0.9 MW_{th}、0.92 MW_{el}の公称容量を持つが、短時間なら1 MW_{th}、1.1 MW_{el}で運転することができる。

発 電

蒸気ボイラーは毎時6.5トンの蒸気を発生する。蒸気条件は、28 bar/420°C（タービン入口）、0.15 bar/54°C（タービン出口）である。年間、6 GWh程度の電気を発電する。

機械、照明、空気の排風等の設備電気容量は約2.3 MW_{el}である。

エネルギー収支

表 6.1.1 Schijndelプラントのエネルギー収支

	単 位	値
入 力：		
－木 材	MW _{th}	6.03
出 力：		
－熱	MW _{th}	0.9
－総電気出力（公称）	MW _{el}	0.92
所内電力使用量	MW _{el}	0.18
正味電気出力	MW _{el}	0.92
ボイラー効率	%	90
総電気効率	%	18
正味電気効率	%	15

環境面

大気中への排出

同施設の化石燃料の節約量は、ディーゼル燃料に換算して毎時 400 l 程度、（年間 7,000 時間運転すると仮定すれば）年間 280 万 l である。

（竣工プログラムの一環として測定された）同施設の実際の排出量は 1997 年については知られておらず、オランダ排出量指針（NER）の許容限度のみを表 6.1.2 に示す。

表 6.1.2 大気中への許容排出量、Schijndelプラント[1.5]

成 分	単 位	値
SO ₂	mg/Nm ³	適用せず
NOx	mg/Nm ³	400
CO	mg/Nm ³	250
CxHy	mg/Nm ³	50
ダスト	mg/Nm ³	25

ダスト排出量を許容濃度以下に低減させるために、電気集塵機を設置している。

固体残さ物

発生する灰の融点は約 1,300°C である。水冷格子を使用してスラグ化は最小限におさえられる。

運転面

Vyncke社は、水冷格子を使用することで、本システムはほとんどの種類のバイオマスの発熱量、水分含有量及び灰の融点に適合して採用可能であると主張している。

運転開始後、最初の6ヵ月間にわたり起動時の問題が報告されたが、これは本形式のプロジェクトに見られる特質である。運転に関する問題を解決してプラントを微調整するには、最初の1年-2年かかるのが普通である。現場で類似システムの経験が得られれば、知識を修得する期間が短縮されるだろう。

本CHPユニットは自動運転できるように設計されている。運転者と製造者が監視するために遠隔制御が使用される。

Schijndelプラントでは、約55名が雇用されている。同社は年間約100,000 m³の木材を加工している。同社の年間総売上高は470万EURである。

経済性

同施設のコストは、建屋とサイロを含めて325万USD（650万NLG）であった。このうち、45万USDは政府が助成した。同施設の計画上の返済期間は7年-10年である。

発電した全電力は、“グリーンパワー”（0.14 NLG/kWh）として地方の配電会社PNEMに売電される。電力網に送られる電力に支払われる通常レートの料金（0.07 NLG/kWh）に加え、0.07 NLG/kWhがPNEMによって支払われる。このうち、0.04 NLG/kWhは“グリーンパワー”基金から、0.03 NLG/kWhは調整エネルギー税基金から支出される。

連絡先：

Mr Marc van Bommel, LVB Wood drying and energy systems Gasthuisstraat 4, 4161 CC Heukelum, the Netherlands.

Tel. : +31-345-619788, fax : +31-345-616905, e-mail : lvb-nl@csa.nl.

参考文献

- [1.1] Doornik Consulting Engineers B.V. ; CHP - Wood Industry Schijndelのフィージビリティ・スタディ ; オランダ、Berghem ; 1995年10月
- [1.2] Vyncke ; バイオマス発電所 ; 企業パンフレット ; 1997年
- [1.3] Doorn, van, J. ; バイオマスは全ての形をとることができる。 ; Energie-en Milieuspectrum No.5 ; オランダ ; 1997年5月
- [1.4] Hilten van, J. Ph., ; Wood Industry Schijndelにおける木材残さからのグリーンパワー ; ミニシンポジウム “クリーンバイオマスからの分散エネルギー生産” での発表に使用されたOHP資料 ; オランダ、Apeldoorn ; 1996年5月
- [1.5] Vyncke ; LVB wood drying & energy systemsとの連絡 ; オランダ ; 1997年8月

6.2 IGCC実証プラント（スウェーデン、Värnamo）

はじめに

1992年にA. Ahlstrom社とSydkraft AB社はBioflow Ltdと名付けた合弁事業体を発足させ、Bioflowエネルギーシステムを市場に投入した。このシステムは、バイオマスに基づいた統合ガス化複合サイクル（IGCC）システムであり、ガス化部分では加圧循環流動床技術が使用されている。

A. Ahlstrom社（現在はFoster Wheeler社の一部門）は、フィンランドで最大の私有企業の一つであった。同社は、50年以上にわたってコージェネレーション、産業用、そして発電用の各種プラントを建設してきた。Sydkraft AB社は、スウェーデンで最大の私有電力会社である。同社は、発電プラントを建設、運転及び所有し、発電のための新技術を開発している。

Bioflowプロセスは、ブラジルにおける世界銀行の地球環境適合（Global Environment Facility：GEF）ガス化装置プロジェクトのために評価された2つの技術の一方である（他はTPS IGCCシステム）。

プロセスの説明

はじめに

Bioflow技術の実証プラントは、1993年初めにスウェーデンのVärnamoで竣工した。このプラントは、燃料乾燥施設、冷却・浄化システム付の加圧循環流動床（CFB）ガス化装置、ガスタービン、廃熱回収ユニット及び蒸気タービンから構成されている。この実証プラントは6 MW_{el}及び9 MW_{th}の容量を持っている。20-120 MW_{el}の範囲のプラントを設計するための技術開発が進められている[2.1]。Värnamoプラントでは、2001年まで試験プログラムが計画されている。プロセスの概要を図6.2.1に示し、Värnamoプラントの性能データを表2.1に示す。

IGCCシステムは余剰バイオマスがある地域に最適である（例えば、製紙とパルプ産業、製材所、農業廃棄物等に関連する）。

図 6.2.1 Värnamoプラントのプロセスフロー

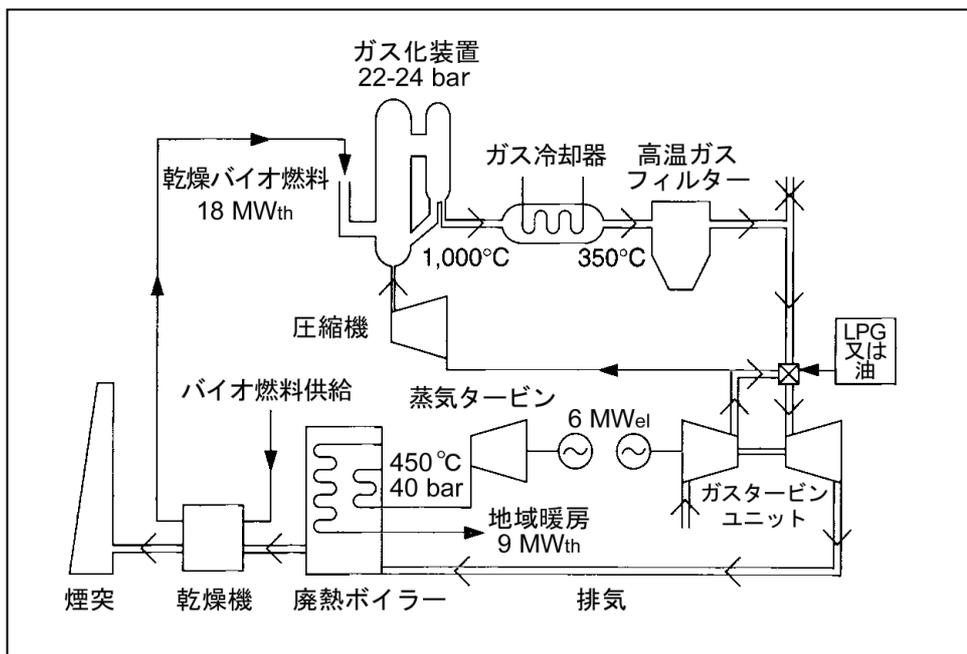


表 6.2.1 Värnamoプラントの性能データ

燃 料	木材と樹皮チップ
プラント規模	燃料入力 18 MW _{th}
ガス化装置の最大熱容量	20 MW _{th}
ガス化圧力	22-24 bar
ガス化温度	950-1,000°C
製品ガスの発熱量	5-6 MJ/Nm ³
電気出力	6 MW _{el}
熱出力	9 MW _{th}
蒸気温度	470°C
蒸気圧力	40 bar
プラント所有者	Sydskraft/Foster Wheeler
ガス化装置	Ahlstrom Boilers
セラミックフィルター	Schumacher
ガスタービン	European Gas Turbine
蒸気タービン	Nadrowski
廃熱蒸気発生器	Ahlstrom Thermoflow
ブースター圧縮機	Ingersoll-Rand

燃 料

本実証プラントは、木材と樹皮からのチップ、又はそれらの混合物を使用するように設計されている。プラントの燃料容量は、バイオマスで 100 t/d程度である[2.5]。燃料は 50% から 10%-20%の湿分になるまで乾燥される。木材の供給者は約 50 km離れた場所にある。このプラントは、2 種類の木材燃料を生産するためにRotomハンマーミルを使用する。これらの木材燃料としては、800 マイクロメートルよりも小さいサイズの粉体化木材と 5 mm よりも小さいサイズの木質チップが作られ[2.2]、回転ドラム乾燥機で乾燥される[2.1]。将来の商業プラントでは、煙突から回収した煙道ガスの廃熱を用いる一体乾燥システムか、あるいは蒸気サイクルから抽気した低圧蒸気のオプションも使用されるだろう[2.1]。

バイオマス燃料とベッド材料の供給は、門扉ホッパーシステム (lock-hopper system) で行われる。

ガス化ユニット

ガス化装置は吸熱領域と発熱領域に分けられ、その境界がバイオマスの供給点である。吸熱領域では木材が熱分解され、発熱領域ではチャーが燃焼する。

乾燥燃料は流動化格子よりも高い特定の位置でガス化装置に供給され、酸素が乏しい環境で直ちに熱分解される。ガスと固体はガス化装置の頂部でサイクロンで分離される。発粗ガスと固体の両方はサイクロンの底部で取り出される。ガス化装置には、セラミックフィルターのためのバイパス流路が設けられている。バイパスの圧力はボール弁で制御される。

チャコール、灰と熱伝達媒質ドロマイト (< 5 mm) から構成される固体部分は、非機械的戻り路を通してガス化装置下部の酸素に富んだ領域に戻される。そこでチャーが燃焼し、プロセスに必要な熱が供給される。煙道ガスは 120°Cの温度で煙突を出る。

ガス化装置を出る発粗ガスの仕様を表 2.2 に示す。このガスは最小でも 4.6 MJ/Nm³の低位発熱量 (Lower Heating Value : LHV) を持っている。

表 6.2.2 Värnamoプラントの発粗ガスの仕様

成 分	単 位	値
H ₂	モル%	11-16
CO	モル%	13-18
CO ₂	モル%	10-14
CH ₄	モル%	2-5
N ₂	モル%	40-50
H ₂ O	モル%	10-14

ガス化プロセスに必要な空気は、タービン圧縮機から抽気される。この空気を 22-24 気圧のガス化装置の圧力までブースター圧縮機 (9-12 bar) で更に加圧する[2.2]。

形成されるタールのクラッキングを促進するために、ベッド材料としてドロマイトを使用し、高温 (950°C-1,000°C) を維持する[2.1]。ドロマイトと高温によって、運転温度で灰が焼結することが防止される。

発 電

本実証プラントは 6 MW_{el}及び 9 MW_{th}の容量を持っている。報告された正味発電効率は 32%である[2.3]。将来の実規模プラントでは、コージェネレーションの場合 40%-45%、凝縮方式の応用の場合 44%-50%の電気効率が期待される。

サイクロンを出る発粗ガスは、水/蒸気サイクルからの水を使用する火管ガス冷却器で冷却され、950°C-1,000°Cから約 350°Cになる。冷却後のガスはSchumacher (セラミックフィルター容器) で浄化され、5 mmよりも大きい粒子が除かれる。

浄化され冷却されたガスは 4 MW_{el} Typhoon Europeanガスタービン (EGT) に導入され、燃焼して膨張する。このガスは、発熱量が比較的小さく、5-6 MJ/Nm³である。そのため、効率的な燃焼とNOx排出量を低減するために市販のガスタービンの燃焼室を改造している[2.1]。

タービンから出た煙道ガスは、飽和蒸気を発生させる火管ガス冷却器に接続されている従来の熱回収システムに導かれる。このガス冷却器からの蒸気は熱回収システムの中で過熱され、その後その過熱蒸気が蒸気タービン (Nadrowski, 40 bar/450°C) に導かれ、約 2 MW_{el}の電気を発生する。ガスタービン等のエントロピー効率は 70%と評価されている[2.2]。

蒸気復水器で開放される熱は地域暖房システムに供給され (9 MW_{th}) [2.2]、復水は地域暖房エコノマイザーによるネットワーク、ブースター空気冷却及びガス化トレインのための冷却水回路に供給される。

利 点

従来技術と比較して、本IGCCシステムは次のような利点があると主張されている。

- 全体効率が高い (85%程度)
- 電気効率が高い。
- 有害物質の排出量が少ない。
- 低発熱量の発粗ガスを使用できる。
- 他のガス化システムと比較して、灰の焼結に伴う問題が少ない。
- いわゆるアルファ係数、すなわち複合サイクルを伴う高压ガス化による電力/供給熱の比が従来のCHPプラントと比較して著しく高い。
- 本実証プロジェクトのアルファ係数は 0.67 (6 MW_{el}/9 MW_{th}) である。商業規模のシステムでは、この比を 1-1.2 まで高められると期待される[2.2]。

- ・ ガスを燃焼させる前に全てのタールを完全に除く必要がない。
- ・ ガスタービンとガス化装置の下流の圧力を低くできる。

エネルギー収支

物質とエネルギーの収支によれば、98%-99%を超える炭素の変換が行われる[2.1]。このプロセスから生じる灰は、そのため、わずかな炭素しか含まない。このプラントのエネルギー収支を表 6.2.3 に示す。

表 6.2.3 Värnamoプラントのエネルギー収支

	単 位	値
入 力：		
－木材／樹皮チップ	MW _{th}	±18
出 力：		
－電 気	MW _{el}	6
－熱	MW _{th}	9
正味電気出力	%	±32

環境面

大気中への排出

このガス化装置はタール形成を制御するために高温で運転され、ベッド材料としてドロマイトを使用している[2.1]。有害金属、塩素、フッ素のレベルは燃料による。清浄なバイオマスを使用すれば、これらのレベルは低くなる。煙突からの排出量を表 6.2.4 に示す。

表 6.2.4 Värnamoプラントの煙突からの排出量

成 分	単 位	値
SO ₂	mg/MJ燃料	< 10
NOx	mg/MJ燃料	< 100
CO	mg/MJ燃料	データが得られていない。
ダスト	ppm	< 200 (10 mg/MJ燃料)
タール	g/Nm ³	5
アルカリ成分	ppm	0.1
アンモニア	vppm	700

固体残さ物

投入した燃料の約 0.3%-1.5%がガス化装置の底部において、そして門扉ホッパーシステムを通じてセラミックフィルター容器から灰として取り出される。灰は減圧システムに入る前にスクリー冷却器で冷却される。

運転面

竣工段階で、異なるプロセスパラメータ（例えば、ガス化温度、ベッド圧力、流動化速度）を最適化した。燃料の質の影響を検討している。1993 年春から 1997 年末にかけて、本プラントの各種機器は木材を使用して合計 4,500 時間運転された。詳細を見ると以下の通りである[2.7]。

- ・ 副生ガスによる完全なシステムの全運転時間（1995 年 10 月-1997 年末）：1,100 時間（150 時間は他の情報源[2.6]から報告された。）
- ・ 副生ガスを外部で燃焼（flared off）したガス化装置の全運転時間：3,400 時間
- ・ セラミックフィルターシステムの全運転時間（1995 年 10 月-1997 年）：2,000 時間
- ・ ガスタービンは、100%燃料油使用から 100%燃料ガスに切り換えるために約 1 時間を要する。

遭遇した問題は、ほとんど補機に関連したものであった。すなわち、燃料供給システムの加圧部品のシール漏洩、オーガ（輸送スクリー）の軸箱に不具合が見られた[2.4]。ガス化装置に使われている耐火材料は未だ最適化されておらず、まだ期待通りではない。ブースター圧縮機で当初発生した激しい磨耗は、容認できる限度まで低減された。ブースター圧縮機に接続されている熱交換器でも腐食が発生した。次の目標は、窒素とベッド材料の消費を減らすことである。セラミックフィルターは高圧で安定な働きを達成し、沈着物の形成や閉塞に関して問題は発生していない。フィルターを通過した後、ダストの排出量は極めて少ない[2.1]。

ヨーロッパの条件での保守活動を含め、80-200 MW_{th}の実規模プラントを運転するには、約 25 名の職員（年間 35,000 人-時間）が必要である。実規模プラントの予想運転時間は、コージェネレーションモードで 4,500 h/yr、産業又は凝縮モードで 6,000-7,000 h/yrと見られる。

経済性

推進者によると、窒素の消費を節約すれば、運転コストを著しく減らすことができるだろう。燃料供給システムが最も窒素を消費するサブシステムであると考えられる。

そのため、燃料供給系と差圧制御系の最適化を進めている[2.1]。

約 60-70 MW_eの実規模プラントの資本コストは、1,500-2,000 USD/kW_eである[2.5]。木

材燃料のコストは、約 6.2-12.4 USD/MWh¹⁾であり（産業木材残さを含む）、水分含有量や前処理のレベル等に依存する。

連絡先：

Mr Krister Stahl, Sydkraft AB, Corporate R&D, S-205 09 Malmoe, Sweden.

Tel.: +46-40-255693, fax: +46-40-6115484, e-mail: krister.stahl@sydkraft.se.

参考文献

- [2.1] Stahl K. (Sydkraft), Palonen J. (Ahlstrom), and Lundqvist R.G. (Ahlstrom) ; IGCC技術とその実証 ; バイオマスからの発電に関するVTTエネルギーセミナーII ; フィンランド、Espoo ; 1995年3月
- [2.2] Van den Heuvel E.J.M.T, Stassen H.E.M. ; 研究旅行の報告書, スウェーデンとフィンランドにおけるバイオマスCFBガス化 ; BTGバイオマス技術グループB.V ; オランダ ; 1993年4月
- [2.3] Suresh Babu ; 熱によるバイオマスのガス化、IEA活動ミーティング ; 1996年
- [2.4] Stahl K. (Sydkraft AB), Neergard M. (Sydkraft Consult AB), Nieminen J. (Foster Wheeler Energia Oy), Stratton P. ; スウェーデン、Värnamoのバイオマスを利用するIGCC発電プラント ; 熱化学バイオマス変換の開発に関する会議で報告された論文 ; Banff 1996年
- [2.5] Sydkraft Consult、スウェーデン、VärnamoのBioflow IGCCガス化プラントに関するBTGのアンケートに対する回答、1997年7月
- [2.6] Wood Fuel Newsletter ; DG XVII (EC Thermie), No.2, p.3 ; 1997年2月
- [2.7] Krister Stahl氏 (Värnamo) との私信、1998年1月

¹⁾ 1997年8月20日現在の為替レートは1 SEK = 0.124 USDである。

6.3 Rauhalahiti発電プラント（フィンランド）

はじめに

1995年にIVOグループとフィンランドのJyvaeskylae町が合弁企業Jyvaeskylae Energiantuotanto Oyを設立し、この企業の株のうち、IVOが60%、町が40%を所有している。その結果、1986年に竣工したRauhalahitiプラントは、当該地区（80,000人）に必要な地域暖房のほとんどを発生し、Kangas製紙工場で使用されるプロセス蒸気を発生すると共に、毎年400 GWh発生する電気をフィンランドの電力網に供給している。このプラントは、燃料として石炭、砕いた泥炭、そして木材チップを使用している。

（主に輸出市場向けの）コピー用紙と上質紙を生産しているKangas製紙工場は、紙パルプを乾燥させるために毎年約350 GWh分の蒸気を購入している。供給される蒸気の種類と圧力は同工場の需要に応じて調整される。

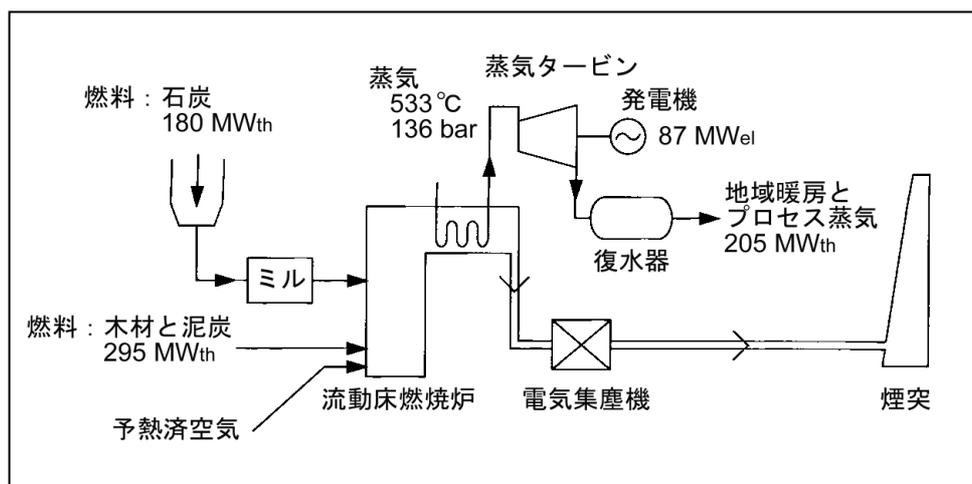
近在の園芸栽培、展示、販売センターも、この発電プラントから熱の供給を受けている。地域暖房の戻り水と製紙工場の復水からいくらかの熱を使用するために、独立した熱交換器が設置されている。

プロセスの説明

はじめに

本プラントの全熱効率は85%である。本発電プラントは、毎年400 GWhの電気をフィンランドの電力網に供給している。プロセスの概要を図6.3.1に示す。

図 6.3.1 Rauhalahitiプラントのプロセスフロー



燃 料

本プラントの主燃料である砕いた泥炭の年間消費量は、100 万m³以上である。トラックにして約70-80台分（それぞれ100 m³）がフィンランドの中央と西部地域から毎日陸路で

本発電プラントに運ばれる。

それに加え、近隣の産業プラントで発生するおがくずや、樹皮と木材チップのような木材残さ、そして公園と森林から発生する細断した木の枝等も燃料として使用される。本プラントには、バックアップ燃料としていくらか石炭も貯蔵されている。

泥炭と木材は2つの燃焼系列によってボイラーに供給される。石炭は泥炭と混ぜて燃すことができるし、独立したバーナーで微粉炭燃料として燃すこともできる。

流動床ユニット

この炉は1986年にTampella Power社（Enviropower社によって買収され、1997年以降Carbona社が所有）が納入した。炉は高さ31 m、体積2,800 m³である。炉の下部はバブリング流動床として機能する。ベッドは、ふるいにかけて120トンの天然の砂であり、800°Cの温度に保たれる。炉の底部でベッドの下に取り付けた4,000個のノズルを通して高温の流動用空気を送り込む。燃料は6個の供給装置によって流動床の上に供給される。ボイラーの両端に水管システムが取り付けられ、136 bar、533°Cの蒸気を発生させる。この蒸気を単筒の背圧蒸気タービンに供給する。

特定の性能データを表6.3.1に示す。

表 6.3.1 Rauhalampiプラントの性能データ

	単 位	値
流動床		
- 格子部分	m ²	122
- ベッド材料（ふるいにかけて砂）	t	120
- 高 さ	m	0.4-0.6
- 砂の粒径	mm	0.5-1.5
蒸気温度	°C	533
蒸気圧力	bar	136（最高）
蒸気生産		
- 泥炭と木材	kg/s	100
- 泥炭+木材+石炭	kg/s	110
- 微粉炭のみ	kg/s	70

発 電

水冷・空冷方式の発電機が 110 kV の電圧で電気を供給する。発電機の容量は 87 MW_{el} である。発電のための蒸気条件を表 6.3.1 に示す。

質量とエネルギーの収支

質量収支と熱収支をそれぞれ表 6.3.2 と表 6.3.3 に示す。

表 6.3.2 Rauhalahiti プラントの質量収支

	単 位	値
入 力：		
－泥炭＋木材残さ	t/h	110
－石 炭	t/h	26
－添加物	t/h	-
－給 水	t/h	396
出 力：		
－飛 灰	t/h	1.5
－底部の灰	t/h	0.2
－煙道ガス	t/h	データが得られていない。
－蒸 気	t/h	396

表 6.3.3 Rauhalahiti プラントのエネルギー収支

	単 位	値
入 力：		
－泥炭＋木材	MW _{th}	295
－石 炭	MW _{th}	180
出 力：		
－プロセス蒸気	MW _{th}	65
－地域暖房	MW _{th}	140
－総電気出力	MW _{el}	87 (最大)
所内電力使用量	MW _{el}	8
正味電気出力	MW _{el}	80
ボイラー効率	%	92
総電気効率	%	29
正味電気効率	%	27

環境面

大気中への排出

環境面は国際的なISO 14001 の環境管理システムに適合している。電気集塵機が灰を99%以上除去する。報告されている排出量を表 6.3.4 に示す。

表 6.3.4 Rauhalahhti プラントにおける大気中への排出量

成分	単位	値*
SO ₂	kg/h	170
NO _x	kg/h	96
CO	kg/h	データが得られていない。
ダスト	kg/h	32

* 年間 8,000 時間運転した場合

固体残さ物

灰は、近隣の公園と庭園の区域を整えて美化するために使用され、道路建設の基礎にも使われる。

運転と保守

本プラントの信頼性は予想通りであると報告されている。最良の稼働率（実績／計画）は 99.95%である[3.1]。本プラントは 5 直体制で運転され、それぞれの直は 5 名から構成される。全部で 60 名がプラントで勤務している。独立した経済性のデータは提供されていないが、これはフィンランドで最大の公益事業企業と地方当局が合同で所有する有力なプラントであり、明らかに当初仕様通りの性能を発揮している。

連絡先：

Mrs Anne Repo, IVO Group, Rauhalahhti Power Plant, PO Box 382, FIN-40101, Jyvaeskylae, Finland.

Tel. : +35-8-143614, fax : +35-8-4273913.

参考文献

- [3.1] Rauhalahhti 発電プラント；パンフレット, IVOグループ/Jyvaeskylaen Energiantuotanto Oy.
- [3.2] IVOグループ、Rauhalahhti 発電プラントに関するBTGのアンケートへの回答、フィンランド、1997年7月

6.4 EPON同時燃焼プラント（オランダ、Gelderland）

はじめに

EPONは、オランダで発電所とコージェネレーションプラントを設計、建設、運転そして維持している。同社は、オランダの全エネルギー需要の約 30%を生み出す 7 基の発電プラントを所有している。EPON Gelderland発電プラントは、微粉炭火力発電所で二次燃料として、毎年 60,000 トンの破壊木材と木材廃棄物を使用している。平均すれば、エネルギーの 5%を木材で賄っている。本プラントは全発電容量が 600 MW_eであり、そのうち約 20 MW_eが木材によるものである。本プロジェクトの目標は、石炭 45,000 t/yr、あるいはプラントの年間石炭消費量の 4.5%を置き換えることである。

プロセスの説明

はじめに

オランダ政府はCO₂の削減に努力すると共に、残さ物や二次燃料の最適な応用を模索している。したがって、廃棄物や破壊木材のような可燃性残さ物について、投棄の禁止を課している。その結果、選択された破壊木材と木材残さの年間排出量の 25%を発電用燃料として使用するために、EPON施設が建設された。

1981年に竣工した本プラントは、当初、石炭だけを焚くように作られていた。1994年9月に、選択され粉体化された破壊木材を追加で焚くための同時燃焼施設の建設が開始された。1996年に同時燃焼を開始した。

燃 料

オランダでは、約 250,000 トンの破壊木材と他の木材残さが毎年放出される。破壊木材の多くは建築廃材に由来する（シャッターボード、窓枠、クレート等）。

木材残さと破壊木材は3ヵ所のサイトに集められ、細断される。大きな金属物、繊維とプラスチック等は、手作業で除かれる。小さい鉄製の部品は磁力で除かれる。小さいプラスチックと繊維の物品は風力で選別される。砂、石そしてガラスのような他の粒子は、ふるいで分けられる。その後、木材チップは輸送容器に入れて発電プラントに運ばれる。木材チップの特性を表 6.4.1 に示す。

表 6.4.1 EPONプラントに供給される木材チップの特性[4.1]

パラメータ	単位	値
密度	kg/m ³	165-185
粒径	cm	0-3
水分含有量	乾燥状態に基づく%	20
発熱量	MJ/kg	16
鉛	mg/g	1,500
亜鉛	mg/g	1,400
塩素	mg/g	400

表 6.4.2 EPONプラントで使用される木材粉末の粒径分布

粒径 (マイクロメートル)	量 (%) (累積)
800	90
1,000	99
1,500	100

輸送容器は荷降ろし区域に集められ、27個の輸送容器（それぞれ45 m³）を扱うことができる自動輸送・ダンピングシステムの上に置かれる。木材チップは受け取りホッパーに空けられて、破碎区域に運ばれる。木材チップは2台の10 t/h容量のハンマーミルによって1 mm-8 mmの粒子になるまで碎かれる。次に木材粒子はチェーンコンベヤで2基の中間貯蔵容器（最大50 m³）に運ばれる。ここから、それぞれ1台ずつの可変スクリーコンベヤを使用して2台のミルユニットに原料が供給される。これらのミルユニット（2.5 t/h × 2台）で粒子のサイズは更に小さくされ、水分含有量が8%以下（乾燥状態に基づく）になるまで予熱済空気を使用して乾燥される。800 マイクロメートルよりも大きい粒径の粒子は選別器でより分け、ミルに戻される。

破碎後の木材粉末は空気コンベヤを使用してボイラーに隣接する貯蔵サイロ（1,000 m³）に輸送される。木材粉末の粒径分布を表 6.4.2 に示す。木材粉末の密度は200-240 kg/m³である。

燃焼ユニット

この施設は、選択された破壊木材を10 t/hの割合で石炭と共に同時燃焼させる。この燃焼ユニットは、600 MW_eの接線方向焚き、微粉炭ボイラーである。木材粉末は4系統の独立した計量配管によってボイラーに供給される。それぞれの配管は約2.5 t/hの容量で使

用される（配管当たりの設備容量は 1.1-3.5 t/hである）。既設の 36 基の石炭バーナー（ボイラー各側面に 6 個の石炭バーナーが 3 列づつ）の下に、4 基の特殊な木材バーナーがボイラーの側壁に取り付けられている（各側に 2 個づつ）。これらの石炭バーナーは油を燃やすこともできる。

本プロセスの概要を図 6.4.1 に示す。いくつかの特定の性能データを表 6.4.3 に示す。

図 6.4.1 EPONプラントのプロセスフロー

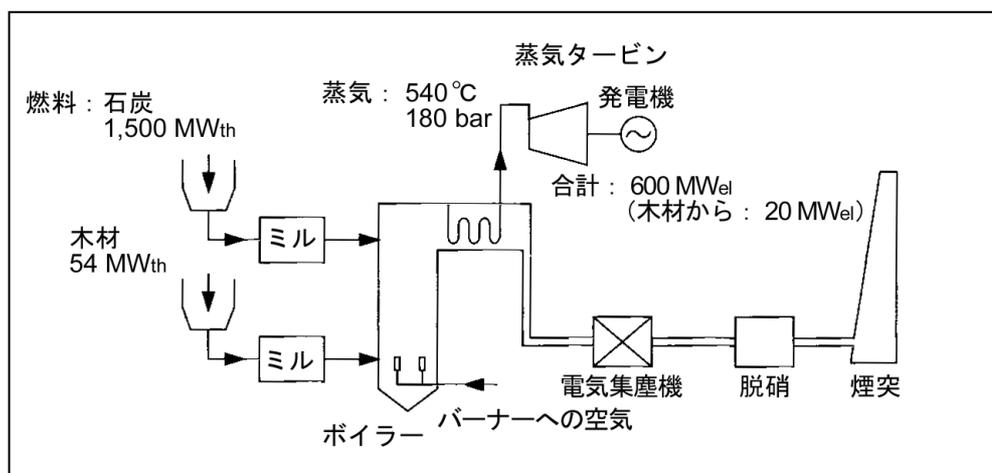


表 6.4.3 EPONプラントの性能データ

	単位	値
ボイラー (Storkボイラー)		
— 蒸気温度	C°	540
— 蒸気圧力	bar	180
— 蒸気発生量	kg/s	515
蒸気復水タービン (Ahlstrom / Mann)		
— 容量	MW _{el}	630
— 消費量	MW _{el}	28
発電機 (Ahlstrom Atlantique)		
— 公称容量	MW _{el}	720
— 公称電圧	kV	20

発 電

燃焼ユニットの壁面に鋼管が取り付けられ、温度 540°C、圧力 180 barの蒸気を発生させる。ボイラー（Stork）はBenson型であり、1 段の再熱を行う。発電は蒸気タービン・発電機（3,000 rpm、150 kV）で行われ、蒸気は 30°Cの温度で 0.04 barの圧力になるまで膨張する。蒸気タービンの高圧段で発電に使用された後、蒸気はボイラーで再熱されてから中圧タービンに送られ、その後低圧タービンに送られる。木材粉末燃料による平均電気出力は約 20 MW_{el}である。

エネルギー面

100%石炭を使用した場合の正味電気効率は 40%である。木材を燃焼させた場合の正味効率は 36%である。概略を表 6.4.4 に示す。

表 6.4.4 EPON発電プラントのエネルギーデータ

	単 位	値
プラントの全容量	MW _{el}	600
木材による平均電気出力	MW _{el}	20
100%石炭の場合の正味電気効率	%	40
微粉化を含む木材準備のための所内消費量	%	10
木材同時燃焼に関連する正味電気効率	%	36

環境面

年間 45,000 トンの石炭を木材で置き換えることで、110,000 t/yrのCO₂排出が低減される。それに加え、破壊木材の埋め立てを避けることができ、飛灰（フライアッシュ）の発生が 4,000 t/yrだけ減少する。

電気集塵機を出た後、煙道ガスは脱硫され、選択触媒低減（Selective Catalytic Reduction : SCR）脱硝システムで脱硝される。これでNO_x発生量が 80%減少する。可能性のある残留物質は、冷却期間中に飛灰との複合物を形成する。

大気中への排出

表 6.4.5 EPONプラントにおける大気中への排出量
(体積比 6% O₂、乾燥煙道ガス)

成分	単位	値
SO ₂	mg/Nm ³	<400
NO _x	mg/Nm ³	<200
CO	mg/Nm ³	<50
重金属合計	mg/Nm ³	<1
Cd	mg/Nm ³	<0.05
Hg	mg/Nm ³	<0.05
HCl	mg/Nm ³	<10
ダスト	mg/Nm ³	<20

固体残さ物

全ての飛灰は建築産業で商業製品として再利用される。

運転面

木材を燃焼させるための制御系は石炭燃焼システムとは独立しており、ユニットを変更しなくても稼働する可能性が得られる。

初めて起動後2年経過した1997年10月（これは新しいバイオマスエネルギー計画では全く典型的なものである）、毎時10トンの木材を燃やす計画上の処理量に到達した。

木材の破碎中に発生するダスト粒子は危険を生じる可能性があった（例えば粉体爆発）。そのため、安全上の理由から、静電気の放電を防ぐために全ての機器を接地し、主サイロに爆発パネルを取り付けた。何らかの考え得る危険を防止するために、ダストコレクタ、供給容器の爆発抑制システム、そして隔離システムも据え付けた。全てのシステムは中央制御システムと連携し、必要に応じて緊急停止ができる。

経済性

木材を粉体化して乾燥させるために必要なエネルギーは、全エネルギー発生量の約10%（185 kWh/t木材）である。本施設の全投資額は約3,000万NLG（1,500万USD）であった。オランダ政府は（Novem/EWABプログラムを通じて）本プロジェクトに100万NLG（50万USD）を補助し、European Thermieプログラムからの補助金370万NLG（180万USD）も受けている。

資金面の可能性の評価を表6.4.6に示す。

表 6.4.6 EPONプラントの資金面の可能性（丸めた数字）

区 分	説 明	USD/yr
減価償却	利率 8%で 10 年間（1,060 万USDの正味投資で）	1,583,000
燃 料	選択された産業木材残さ	0
労働力	フルタイム雇用者 2 名	143,000
保 守	全投資コスト（1,300 万USDで設定）の 2.5%	321,000
回避された石炭	50 USD/tで 45,000 トン	-/- 2,250,000
正味収益		203,000

実際に達成される数字は上記の値と異なっているが、基本的に、既設の石炭焚き火力発電プラントにおける安価な木材残さの同時燃焼は非常に魅力的であることがわかる。

連絡先：

Mr Frans Penninks, EPON, Power Generation, PO Box 10087, 8000 GB Zwolle, the Netherlands.

Tel. : +31-38-4272900, fax : +31-38-4272906.

参考文献

- [4.1] Penninks F.W.M ; 発電のための石炭と木材の燃料；廃木材と破壊木材の環境に優しい解決策；EPON Power Generation；1996年
- [4.2] EPON；エネルギーのための木材；パンフレット；1996年
- [4.3] EPON Power Generation；オランダにおける粉体化木材の同時燃焼プロジェクト；Novem（Netherlands Agency for Energy and the Environment：オランダエネルギー環境機関）のために作成した資料；1996年
- [4.4] EPONのPenninks氏との私信、1997年
- [4.5] Beekes, M.L., Bestebroer, S.I., Lindeman, J.H.W. (KEMA), Berg, van den, D., Venendaal, R. (BTG)；エストニアから輸入したバイオマスをEZHとEPZの発電プラントで同時燃焼させた経験；オランダ、Arnhem；1996年10月

6.5 SRC-Gazelガス化プロジェクト（ベルギー、Leuven）

はじめに

1995年にベルギーのWalloon地域の行政当局とElectrabel社が協力してSRC-Gazelプロジェクトを発足させた。この実証プロジェクトは、固定床副流ガス化装置 (fixed-bed co-current gasifier) によって短伐低木林材 (SRC) のヤナギをガス化して発電することを目的としていた。このプロジェクトには、SRCの栽培と収穫、木材燃料の準備、小規模ガス化、内燃機関による発電が含まれる。このプロジェクトは、Walloon政府の農業・エネルギー・環境省、Electrabel社、そして4カ所の科学研究機関 (UCL、GRAGx、FUNDP-CREW、ISSeP) が支援している。

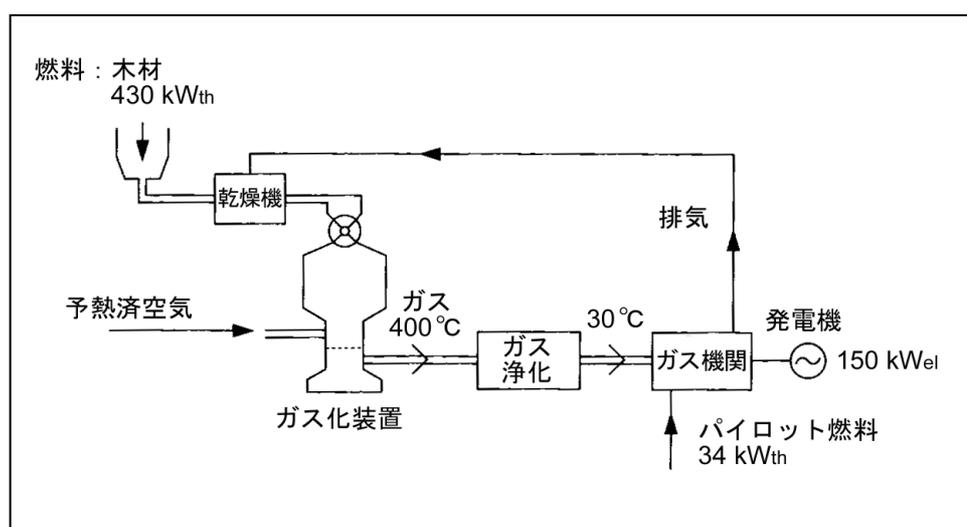
1996年6月にこのシステムはリューベンカトリック大学 (the Catholic University of Leuven) で試験された。プラントの竣工は1998年5月に計画されていた。

プロセスの説明

はじめに

GazelルートによるSRCを燃料とした分散発電は、100-500 kW_{eI}の容量を持つ施設に適していると考えられる。このパイロット規模のユニット (150 kW_{eI}) は、約1,000 h/yr運転され、SRCから138,000 kWh/yr、パイロットガスオイルから12,000 kWhを発電するだろう。変換ユニットの概要を図6.5.1に示す。主な構成機器は、供給ホッパー (20 m³)、ガス化装置、ガス浄化ユニット及び発電機である。全ての機器は単一のコンピュータ化された制御系で管理される。

図 6.5.1 SRC Gazel変換ユニットのプロセスフロー



燃 料

SRCのヤナギを栽培するために、約 10 ヘクタールの土地を耕している。土地の生産性としては、1 ヘクタール当たり乾燥材料が 12 トン得られると評価されている。典型的に使用されるヤナギの枝は、直径 3 cm-5 cm、長さ 6 mである。これらの枝を長さ幅がそれぞれ 10 mm-100 mmと 5 mm-15 mmになるように細断する。この燃料の混合物は、長さが約 30 cmの細い枝と多量の木材ダストも含んでいる。

ガス化装置を出る排気ガスをコンベヤ上の木材燃料に吹き付けて、それらの水分を 40% から 10%まで乾燥させる。

燃料は、ある農場経営者によって生産される。プラントに届けられるチップのコストは、農場経営者の労働コストを含めて、4 ECU/GJ程度であると見られる。

ガス化ユニット

タール含有量が少ないガスを発生でき、小規模な応用に適しているため、固定床下降気流ガス化装置を選定した。それに加え、この装置は起動時間が短いという特徴も持っている。ガス化装置に送り込む空気は、副生ガスとの熱交換によって 200°Cに予熱される。

発 電

副生ガスは比較的低い約 400°Cの温度でガス化装置を出るが、これは流入する燃焼空気と内部で熱交換が行われるためである。冷却と純化を行った後、副生ガスはターボ過給機付きの二元燃料燃焼エンジンに供給され、このエンジンで同期発電機を駆動する。

エネルギー収支

報告されている本施設の熱収支を表 6.5.1 に示す。これらのかかなり楽観的な高い数字は、リューベンカトリック大学の性能試験に基づくものである。(半)商業運転を行う際の熱収支は、これらよりも低い数字になるだろう。正味電気効率のもっと現実的な数字は、20%-22%というところだろう。

表 6.5.1 Gazelシステムの試運転時のエネルギー収支（主張されている数字）

	単 位	値
入 力：		
－燃料による入力（湿潤）	kW _{th}	430.2
－パイロット燃料による入力	kW _{th}	34.4
出 力：		
－副生ガス（エネルギー含有量）	kW _{th}	395.8
総電気出力		
－エンジンの出力	kW _{el}	166.5
－発電機の出力	kW _{el}	157
所内の電力消費量	kW _{el}	7
正味電気出力	kW _{el}	150
エンジンの効率	%	38.7
発電機の効率	%	94.3
正味電気効率	%	26.3

空気冷却器を出る際（30℃）の副生ガスの低位発熱量は、5.5 MJ/Nm³である。木材の低位発熱量は 14.55 kJ/kgである（水分含有量は乾燥物質に対して 10%である）。

水分を含む木材の消費量は 130 kg/h程度である。

環境面

大気中への排出

副生ガスはサイクロンによる乾式灰抽出とスクラバー（水スプレイ塔）によって浄化される。後者はガスを冷却すると共に、タールのような不純物を除去する。冷却されたガスは約 80℃の温度でスクラバーを出る。空気冷却器でガスの温度を更に 30℃に下げ、タール粒子上に水を凝縮させる。凝縮可能な物質は、湿式サイクロンとインピンジャー（フィルター）でガスから分離される。捕獲したタールは、乾燥後、木材と共にガス化装置に戻される。布フィルターでエンジンを保護する。もしガス浄化系が故障すると、タールが布フィルターを閉塞させ、エンジンへのガス供給が直ちに減少する。

起動後の最初の数秒間は、低品質の副生ガスをプロパン火炎の中で燃焼させ、その成分のほとんどを酸化させる。しかしながら、この排気ガスについては、まだ正確な測定を行っていない。開発者達は、排気ガスがSO_xを含まず、NO_xと粒子状物質も通常のディーゼル発電から発生するヒュームの場合より少ないと期待している。

固体と液体の残さ物

冷却プロセスで毎時 11 ℓの水が凝縮し、この水はタールで汚染されている。タールの性

質に応じて、この凝縮水はガス化システムで再使用されるか、あるいは外部で処理される。

木材の灰分は少ない。もし炭素の含有量が容認できれば、この灰はエネルギー作物の肥料として使用することが考えられる。

運転面

スクラバーシステムを使用しているため、タールによる汚染を避けることはできない。タールで汚染された凝縮水が毎時 11 ℓ 発生するという報告された数字は、非常に多量である。汚染タールのクリーンな処理が今後研究を集中すべき分野の一つである。

燃料が不均一な組成を持つため、供給システムとガス化装置の両方で閉塞とブリッジ形成のような問題を引き起こした。これは燃料レベルセンサーにも問題を生じた。これらの問題はガス化装置を修正することによって解決され、この方法は木材チップのサイズを小さくして燃料をスクリーニングするよりも経済的な代替策であった。

起動時間（常温で起動後、全出力運転までの時間）は、約 10 分である。パイロットプラントは全負荷で運転されるだろうと計画されている。

（ピーク負荷時間帯だけ約 1,000 h/yr 運転すると仮定した場合の）プラントの予想寿命は、少なくとも 20 年である。発電機セットは 20,000 時間以上運転できるだろう[5.3]。

この変換ユニットは、部分的に自動で運転される。全ての起動操作、燃料供給、停止操作、安全・警報システムは、コンピュータで制御される。供給ホッパーへの積み込み、灰運搬容器の排出、そして燃焼エンジンの保守は自動ではなく、農場経営者の管理のもとで作業する被雇用者によって行われるだろう。

経済性

ベルギーでは、電気の 60%以上が原子力に依存し、そのため電気の基本料金は安い。SRC から生み出されるエネルギーのコストは 3-5 USD/GJ である[5.2]。これは、ピークデマンド時間帯でのみ他の供給源による電気料金と競合できる。コストについて以下の数字が報告されている[5.3]。

表 6.5.2 SRC-Gazelパイロットプロジェクトの資金面の可能性（報告された数字）

区 分	USD セント/kWh	備 考
減価償却	—	含まれず（1,000 h/yr、n=10、i=10%で0.17 USD/kWh）
運転コスト（燃料費を含む）チップ生産	5.6	アンケート、木材を含む。
ガスオイル	0.4	アンケート
凝縮水の処理	1.4	アンケート
人件費	—	遠隔制御／無視
O&M	—	含まず。
電力網への送電	4.0	仮定
グリーン電気	2.7	アンケート
正味の結果	-/-0.7	

電力網との接続及び土木工事を除く本プラントの投資コストは楽観的に 1,050 USD/kWh_eと推定されている[5.3]。木材チップ生産（SRC栽培、収穫、細断、貯蔵・輸送）を含む運転コストは約 0.056 USD/kWhである。

Walloon政府から支出された投資コストの 30%にあたる補助金以外に、供給した電気に対して 0.027 USD/kWhの割合で支払われる“グリーンエネルギー”補助金や、（却下されたが）農場経営者がSRCを栽培するための補助金の可能性も誘因である。

表 6.5.2 からわかるように、商業運転については、本プロセスを一層魅力的なものとするために、このパイロットプロジェクトで設定された 1,000 h/yrよりも年間の運転時間数をはるかに長くする必要がある。特に、もし運転時間数を最小でも 5,000 h/yr以上に長くできれば、減価償却コスト（USD ct/kWhで表され、今回報告された数字には含まれていない）が減少するだろう。

連絡先：

Mr Francois Bourgois, Catholic University of Leuven, Unite TERM, Place du Levant,
2 (parking 14), B 1348 Leuven-la-Neuve, Belgium.
Tel. : +32-10-472200, fax : +32-10-452692, e-mail secret@term.ucl.ac.be.

参考文献

- [5.1] SRC-Gazel；実規模パイロットプロジェクトー短伐低木林材（SRC）をガス化して発電を行うパイロットプロセス；Electrabel Energy Techniques and Innovation.
- [5.2] Martin J., Bourgois F., Servais M.；木材チップガス化装置から燃料を供給する往復動エンジンによる小規模発電；アムステルダム発電会議での報告；1995年5月
- [5.3] Leuven大学、SRC-Gazelパイロットプロジェクトに関するBTGのアンケートに対する回答、ベルギー、1997年7月

6.6 Renugasガス化装置（米国、ハワイ）



Renugasガス化プラント（写真は米国エネルギー省の好意による。）

はじめに

ハワイにある 100 t/dサトウキビ・バガス燃焼施設（20 MW_{th}）で、高温ガス浄化（Hot Gas Clean-Up : HGCU）とガスタービン発電をガス化と一体化させる技術の実証が進められている。本プロジェクトは、the Hawaiian Commercial and Sugar Co.がマウイ島に設置したPaia製糖工場で実施された。一体化運転は 1997 年末に計画されていた。

本プロジェクトの目的は、（ガス技術研究所the Institute of Gas Technologyがエンジニアリング面を担当した）パイロット規模 10 t/d（2 MW_{th}）のRenugas加圧空気／酸素ガス化装置を大型プラント（燃料としてバガス）と木材を 50-100 t/dの割合で処理可能に拡大することであった。本プラントは電気とメタノールを生産する。

本プロジェクトには、フロリダ州オーランドのウエスチングハウス社（Westinghouse Electric Corporation : WEC）、イリノイ州シカゴのIGT社、ハワイ州マウイ島の高度技術研究太平洋国際センター（the Pacific International Centre for High Technology Research : PICHTR）、マウイ島のハワイ自然エネルギー研究所（the Hawaii Natural Energy Institute : HNEI）、マウイ島のハワイ商業砂糖会社（the Hawaii Commercial and Sugar Company :

HC&S)、そして同じくマウイ島の土木・エンジニアリング会社で本プロジェクトを担当したラルフM.パーソンズ社 (the Ralph M. Parsons Company) が参加している。国立再生エネルギー研究所 (the National Renewable Energy Laboratory : NREL) がプロジェクトの管理とシステムの解析を担当している。

プロセスの説明

はじめに

本プロセスは、シカゴにある 10 t/dのプロセス開発ユニット (PDU) でまず試験された。100 t/d規模のユニットへの拡大は次の3段階で行われた。

フェーズ 1 : 高温で未処理のガス (外部でフレア燃焼させる) を発生させるガス化装置の設計と建設を行い予備的な運転を行った。

フェーズ 2 (1997年8月) : 最高圧力 10 bar (150 psia) で 50 t/dの燃料供給率でこのガス化装置を運転した。3-5 MW_{el}の発電を行うために、実規模HGCUユニットとガスタービンを設置する予定である。ガス化装置の燃料供給率を 100 t/dにすることが期待され、本システムを最高 20 bar (300 psia) の圧力で運転することが期待されている。高温ガス浄化システムはWECによって開発され、シカゴの 10 t/d施設で試験された。

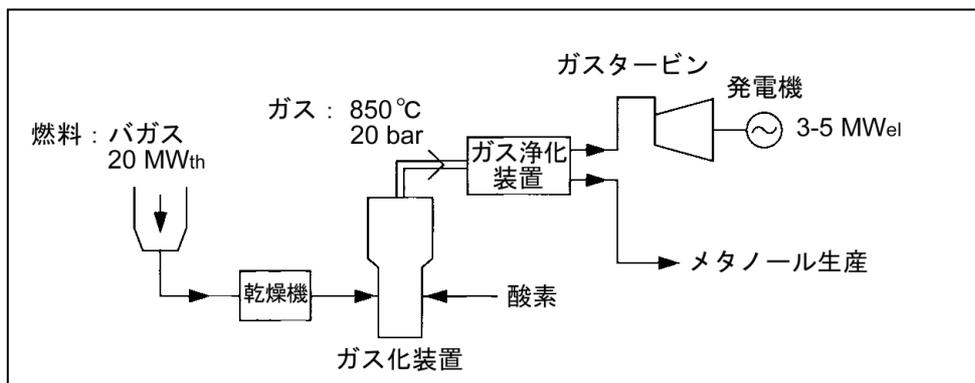
フェーズ 3 : 発電に加え、メタノール合成のための清浄な合成ガス (syngas) を発生させるために、酸素吹き込みモード (20 bar/300 psia ; 850°C-900°C) で本システムを運転する予定である。発生したガスの半分を発電のために使用し、残り半分でメタノールを生産する。

ガス化装置とタービンの一体化アッセンブリの製作は 1996 年に完了した。一体化タービンシステムは1997年の第三四半期に運転可能な状態になった。米国エネルギー省 (the US Department of Energy)、ハワイ州、そしてWECが出資した試験は、工学開発ユニット (EDU) を使用し、最高圧力 20 bar、ガス化温度 800°C-900°Cで実施された。酸素を吹き込む条件で、低発熱量のガスを発生させた。プロセスの概要を図 6.6.1 に示す。

燃 料

バガスは製糖産業の副産物であり、サトウキビを砕いて砂糖成分を除いた後の残りかすである。直径が 1.8 mのプロパン焚き回転ドラムでバガスの水分含有量を 45%から 15%-20%まで乾燥させる。この乾燥機はガス化装置から発生するガスを焚くこともできる。試験中に達成できた最大処理量は1日当たりバガス 90 トンであった。

図 6.6.1 Renugasプラントのプロセスフロー



乾燥後のバガスは、サイクロン、スラットフィーダーに送られ、最後に主供給システムに送られる。ここでバガスはプラグスクリーフィーダーで圧縮される。圧縮された供給燃料は、供給システムと加圧ガス化装置の間の圧力プラグの役割を果たす。試験中、最高 12 bar (180 psi) までの圧力抵抗を持つプラグが加工された。第二のプラグスクリーフィーダーを追加することにより、最高 23 bar (350 psi) までの圧力抵抗を達成できた。これらのプラグはシュレッターコンベヤ (回転水冷スクリー) によって破碎され、加圧ガス化装置に供給される。

最初、本プラントはPaia製糖工場からのバガスを使用する予定であるが、将来の燃料としてSRC木質作物と草本エネルギー作物を栽培する計画がある。本プラントの燃料需要として、大部分の供給原料を賄うために約 1,000 ヘクタールが必要であると予想される。

表 6.6.1 Paia製糖工場におけるバガスの近似的分析

項目	単位	値
発熱量	MJ/kg	15.73-16.65
水分含有量	%	8.40-8.54
灰分	%	5.90-9.65
揮発成分	%	69.39-70.38
固定炭素	%	12.56-15.18
硫黄	%	0.05-0.08

Renugasガス化装置

耐火物で内張りしたこのガス化装置は、流動床タイプで直径 1.2 m、高さ 10 mである。設計圧力は 38.5 barである。この形式のガス化装置を最大 250-500 t/dのバイオマスの処理量まで拡大できると期待されている。

ベッド材料は特殊なアルミナタイプのビーズである。特別に設計した散布装置がバガス投入点のすぐ近くに空気／酸素と蒸気を分布させる。

本システムの初期温度上昇はプロパンバーナーで行われる。発生したガスはサイクロンを流通し、ここで粒子状物質とガス化しなかった生成物を分離する。

発 電

試験段階の間に、サイクロンから発生したガスを圧力制御弁を通して焼却塔に送り、完全に燃焼させた。次の段階では、複合サイクルで発電を行う予定である。

質量とエネルギーの収支

質量と熱の収支に関するデータはまだ得られていない。

環境面

大気中への排出

本プロジェクトのフェーズ 1 では、発生したガスを一次サイクロンで浄化し、焼却塔で燃焼させた。第 2 フェーズでは、主製品ガスの後流を 600°C-700°C まで急冷し、ガスタービンの運転に支障をきたす粒子を除くために Westinghouse 社が設計したキャンドルフィルターシステムによって濾過した。

本 Renugas システムは、燃焼ガスから飛灰粒子、タール、油及びアルカリ成分を除去する。発生した灰は、169 トンのバガスを処理した 107 時間の試験中に 5% 未満であった。

固体残さ物

サイクロンからの固体残さ廃棄物は、処分のために灰門扉捕集装置 (ash lock-trapper) に通される。

運転面

Renugas のプロセス開発ユニット (PDU) は、硬木、完全な木からのチップ、高速道路の柴を刈り取ったくず、ペレット状のごみ固形化燃料 (RDF)、米のワラ、製紙工場のスラッジと樹皮 (バーク) 廃棄物を含む、多くの異なる供給原料を使用して長時間運転された。これらの試験は、運転の収率、ガスの品質、効率、物質とエネルギーの収支に関するデータを提供し、多様な供給原料を使用できる門扉ホッパー供給システムの可能性を実証するために役だった。

(1) EDU 施設による経験

1995 年に工学開発ユニット (EDU) を使用して 3 回の試験ランを実施した。これらの試験中、歩廊貯蔵容器 (walking-floor storage bin : WFB, 2.5×3×15 m³) を満たすために使

用されるフロントエンドローダーによってバガスの供給を行った。前端で、チェーンレーキを送給バガスパイルの中に傾け、バガスを粉砕して乾燥機に接続する埋立コンベヤ（reclaim conveyor）上に積み込む。高処理量（最高 200 t/d）を達成し、供給物の均一性を改善するために、チェーンレーキを一連のスパイクロールに交換することができた。

バガスの取り扱いで遭遇した問題のために、最初の試験は失敗した。第二と第三の試験では、48 時間でそれぞれ 25 t/d と 50 t/d（乾燥状態に基づく）のバガスを成功裏に処理できた。この場合のガス化装置の条件は、圧力 4 barg（60 psig）と温度 870°C であった。

供給原料の取り扱いの問題とそのための解決策は、以下のようなものであった。

- ・ 回転乾燥機のエアロックでバガスが閉塞し、デブリが蓄積したが、オンラインの湿分モニタと岩石セパレータを追加して解消できた。
- ・ バガスが重りベルト上を流れ、テーパー付下向きシュートを経て主供給系に流れた。このシュートはしばしば閉塞した。Syl 塗料でシュートをコーティングし、振動機（バイブレータ）を追加してこの問題を解決した。
- ・ バガスを圧縮するプラグスクリュウの運転は、テーパー付スプールピースを 4340 高炭素鋼製のスプールと交換し、このスプールを潤滑することによって改善できた。
- ・ プラグスクリュウフィーダーは最高 10 bar の圧力までうまく運転できたが、第二段階の運転で考えられている 20 bar の圧力では、1 段プラグスクリュウフィーダーの運転は不可能である。20 bar の運転には、在来の門扉ホッパーフィーダーを使用する予定である。

本プロジェクトの技術検証段階では、1,500 時間の連続運転が計画されている。

(2) PDU 施設における経験

本ガス化装置はまだガスタービンに接続されていない。炭素の変換率は 95% を超えている。油とタールの潜在的な再使用を除く、冷ガス効率は 67% であった。窒素を含まない副生ガスの発熱量は、12.6 MJ/m³ であった。副生ガスの組成を表 6.6.2 に示す。ガスの収率は、1.4 Nm³/kg であった。

本ガス化装置による経験はまだ限られているため、信頼性に関するデータは提供できない。しかしながら、メタン濃度が高く、タール負荷が大きい可能性があることに注意しなければならない。

表 6.6.2 PDUから得られた副生ガスの組成

項目	単位	値 試験 1	値 試験 2	値 試験 3	値 PDU試験
温度	℃	850	835	857	853
圧力	bar	3.3	4.7	5.6	23.8
供給率	kg/h w.b.	1,048	1,714	1,560	254
水分含有量	%	26	31	17	18
H ₂	%	12.0	12.1	18.4	18.2
CO ₂	%	49.9	45.6	39.0	37.6
CO	%	27.0	29.1	26.2	26.1
CH ₄	%	9.0	10.4	14.9	17.3
>C ₂	%	2.2	2.6	1.5	0.8

経済性

本プロジェクトは、米国諸州の中で最高のハワイの電気料金を減らす方法を実証してくれるものと期待されている。マウイ全体の電気料金は、1992年において0.11 USD/kWh以上であった。

産業界とハワイ州は本プロジェクトのフェーズ 1 に 420 万USDを出資し、環境省 (the Department of the Environment) は 600 万USDを出資した。コストは第 2 フェーズでも再び分担され、産業界のコストはWestinghouse社が出資している。

連絡先：

Mr Ralph Overend, National Renewable Energy Laboratory, 1617 Cole Boulevard, Golden CO 80401 3393, USA.

Tel. : +1-303-2753000, fax : +1-303-2752905, e-mail : overend@tcplink.nrel.gov.

参考文献

- [6.1] CADDET再生エネルギープロジェクト論文US-96-533 ; ハワイのプロジェクトが実規模のガス化と高温ガス浄化を検証する。 ; 1996年10月
- [6.2] 米国エネルギー省 (DOE)、Internet site :
<http://www.eren.doe.gov/biopower/biohawaii.html> ; ハワイバイオマスガス化装置プロジェクト ; 1997年5月
- [6.3] Overend R.P. (NREL), Onischak M. (IGT), Trenka A.(PICHT), and Kinoshita C.(HNEI) ; 加圧酸素-空気流動床ガス化技術の拡大 ; 米国エネルギー省及び高度技術研究太平洋国際センター

6.7 Marsh発電プラント（米国、カリフォルニア州、Williams）

はじめに

米国、カリフォルニア州、Williamsに位置するFloyd Myers Marsh発電プラントは、精米をして残った米の殻（モミガラ）を発電のために使用する。本プラントは、Wadham Environmental Corp.（全般出資者）とAT&T Credit Holdings, Inc.（限定出資者）の間の協同会社であるWadham Energy合資会社が所有している。運転は、UAE Energy Operations Corp.が行っている。1988年に運転を開始した本プラントは、この種のものとしては最大級である。

プロセスの説明

はじめに

本プラントは、年間約200,000トンのモミガラを消費する。これらのモミガラは、カリフォルニア州北部の4カ所の精米所から得ている。これらのモミガラは一年中燃されている。高い設備利用率を確実にするために、特定の量を貯蔵している。本プラントは、精米所がこれまでかかえていたモミガラの処分の問題に解決策を与えている。結果として得られる灰は、市場で売れるリサイクル製品になる。

燃 料

燃料は、燃焼前の劣化を最小にするために、貯蔵施設で回転されている。米の殻は直径が2.7mmよりも大きいものがないように破碎され、燃焼特性を良くするために表面積を増加させる。モミガラは研磨性が強く、破碎は本プラントの運転費の中で最大の成分を占める。米の殻はシリカ含有量が約19%である。

発 電

MarshプラントにはABB高圧タービンが設置されている。1基のZurnボイラーが100 bar、510°Cの蒸気を毎時87トンの量でこのタービンに供給する。発電機が電力網と米の殻の破碎ミルに電気を送っている。

エネルギー面

本プラントは29.5 MW_{el}の電気を発電し、このうち3.5 MW_{el}が所内で消費される。残りは電力網に売電される。

環境面

固体残さ物

本プラントで発生する灰は、90%以上アモルファスシリカから構成される。これはスポンジ状をした砂-石灰様の物質であり、鉄鋼産業に売却される。鉄鋼産業では、これを断

熱材として使用する。Marshプラントは、毎時約 3.5 トンの米の殻のシリカを発生する。

運転面

本プラントでは 30 名の職員が雇用され、そのうち 25 名が運転と保守に従事している。これは 95%利用率で運転されている。

経済性

供給者との契約は変動するが、一般に本プラントは米の殻の輸送費だけを支払っている。電力は、15 年契約で Pacific Gas & Electric 社に売電される。非ピークパワー料金は非常に低い（約 0.015 USD/kWh）、ピーク料金は極端に高い（約 0.18 USD/kWh）。

本プラントは灰の専売権を持ち、約 50 USD/t を得ている。初歩的な計算によれば、灰の販売で本プラントの総売上高は 15% も増加する可能性がある。本プラントの経済性は、高いピークパワー料金、安い原料費、そして灰の販売によっていることは明らかである。それに加え、本プロジェクトは、4 カ所のプロジェクト融資者によって提供される銀行資金で支援されている。

連絡先：

Mr Mai-Trang Dang, Alternative Energy Development, Inc., 8455 Colesville Road, Suite 1225,
Silver Spring, Maryland, 20910-3320 USA.

Tel. : +1-301-6083666, fax : +1-301-6083667, e-mail : 71034.1156@compuserve.com.

参考文献

[7.1] Hargrave, T. ; Dang, M.T. (AED Alternative Energy Development Inc.) ; インドネシアの代表団と共にバイオマスプラントのサイトを訪問した経験 ; 1996 年

6.8 Rudkøbing CHPプラント（デンマーク）

はじめに

Rudkøbingプラントは、デンマークのLangeland島にあるワラ焼きCHPユニットである。試験・実証ユニットとして建設された本プラントは、1990年1月に運転が開始された。これはデンマークにある最初の3基のCHPプラントの1つで、完全にワラだけを焚く世界最初のプラントである。

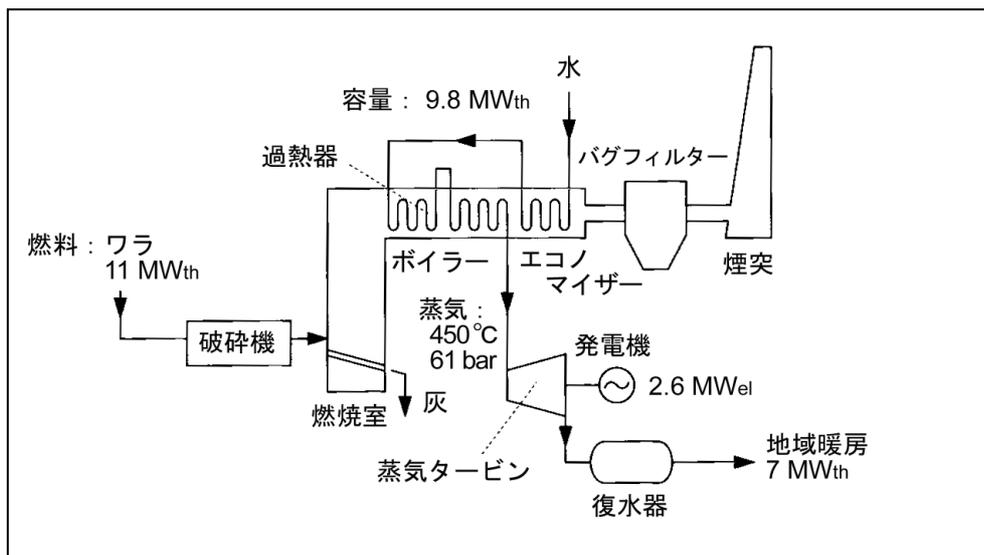
Rudkøbingプラントは、I/S Fynsvaerket社が建設、所有し、運転を行っている。発生した電気は地方の電力会社であるLangelands Elforsyning社に供給され、熱は地方の地域暖房会社であるRudkøbing Kraftvarmeværk社に供給される。

プロセスの説明

はじめに

本プラントの概要を図 6.8.1 に示す。

図 6.8.1 Rudkøbingプラントのプロセスフロー



燃料供給

ワラはHesston梱包物（寸法：2.4×1.2×1.3 m³、重量：500 kg）として本プラントに供給される。ワラは貨物トラックで届けられ、フォークリフトトラックで降ろされる。これらの梱包物は、貯蔵庫に送られる際、自動的に秤量と登録が行われる。貯蔵庫（梱包物 700 個あるいは 350 トン分）は、全負荷で 5 日分の消費量を貯蔵できる（毎時ワラ 3 トン）。年間の燃料消費量は、ワラで約 13,000 トンである (>> 180 TJ)。ワラの水分含有量は 10%-25%、灰分の含有量は 1.5%-6.8%、発熱量は 12.2-16.3 MJ/kgである。

貯蔵庫から梱包物を自動クレーンでコンベヤベルト上に供給する。ひもを切ってワラを

乱切りする。長方形のピストンを使用して水平方向に動く格子上に切断後のワラを押しやる。燃料供給は水冷チャンネルを通して行われ、ここでは煙道ガスが燃料と共に再循環されている。

ボイラーユニット

BWE (Burmeister & Wain Energi A/S) 社が納入した水管ボイラーにはドラムが取り付けられ、蒸発システムで自然循環が行われる。ボイラーの壁を形成している水／蒸気管の中にボイラー水を流す。水が蒸発する際、蒸気はドラムから燃焼室の後ろの部分に垂直に置かれている2基の過熱器に導かれる。それらの後にエコマイザーと空気予熱器を内蔵する部分があり、給水と燃焼用空気が加熱される。スラグの沈着を防ぐために、過熱器の温度は最高 450°C に制限されている。

ボイラーの容量は 3.85 kg/s の高圧蒸気 (61 bar、450°C) である。格子は、燃焼開口部の直後に据え付けられている固定水冷格子と燃焼が完了する振動格子に分かれている。スラグは水冷スラグ部分に滴下し、運搬容器に運ばれる。

プラントの主要性能データを表 6.8.1 に示す。

表 6.8.1 Rudkøbing プラントの主要な性能データ

	単位	値
主蒸気条件	kg/s-bara-°C	3.85-61-450
地域暖房条件	MW _{th} -°C	7.0-90
ボイラー容量	MW _{th}	9.8
燃料入力としてのワラ (最大)	MW _{th}	11.0

エネルギー生産

電気は 2.6 MW_e の公称容量を持つ Blohm & Voss 社の反動蒸気タービンで発電され、そのうち 2.3 MW_e が売電される。凝縮の容量が小さい (すなわち、地域暖房需要が小さい) 時に背圧蒸気タービンとして発電を可能にするために、本プラントは余剰熱を貯蔵するための 2,500 m³ の高温水アキュムレータを持っている。305,000 MJ のバッファ容量は最大負荷 (10 MW_{th}) で 8.5 時間、最小負荷 (1.4 MW_{th}) で 60 時間に相当する。地域暖房の熱は 1,550 軒の家庭に供給される。

エネルギー収支

Rudkøbing プラントのエネルギー収支を表 6.8.2 に示す。

表 6.8.2 Rudkøbingプラントのエネルギー収支

	単 位	値
入 力：		
－ワラ 100%	MW _{th}	10.7
出 力：		
－電気（正味）	MW _{el}	2.3
－地域暖房	MW _{th}	7.0
総電気出力	MW _{el}	2.6
所内使用分	MW _{el}	0.3
正味電気出力	MW _{el}	2.3
ボイラー効率	%	90
総電気出力	%	24.3
正味電気出力	%	21.5

環境面

大気中への排出

Rudkøbingプラントは、粒子状物質の排出に関するデンマークの最新の環境制限値に適合する。SO_xとNO_xの排出は検出されていない。固体粒子の排出はSimatekのバグフィルターで制御される。浄化していない煙道ガスは典型的には 1,000-5,000 mg/Nm³ の飛灰を含んでいる。固体粒子の最大許容排出量は 40 mg/Nm³ である。固体粒子の測定された排出量は 5 mg/Nm³ である（湿った煙道ガス中で、体積比の酸素（O₂）濃度が恐らく 10%-11% の値）。

固体残さ物

スラグは肥料として使用するために農場経営者に返される。灰は廃棄される。

運転面

本プラントは年間 5,700 時間運転される。完成したプラントの技術的な寿命は 20 年と見られる。

本プラントは高度に自動化されている。本CHPプラントは 4 人の運転員で 07:00 から 15:00 時まで毎日運転され、15:00 から 07:00 時の間はたった 1 人の運転員だけが勤務についている。

経済性²⁾

(全負荷換算で) 年間 4,500 時間運転する場合の経済性を評価した。

ワラは、400 DKK/t (62 USD/t) 又は 30 DKK/GJ (4.65 USD/GJ) 程度でゲートに届けられる。

本プラントの全投資コストは 6,400 万DKK (992 万USD) であった。投資コストの内訳を表 6.8.3 に示す。

表 6.8.3 Rudkøbingプラントの投資コストの内訳

	投資 (百万DKK)	投資 (百万USD)
土地	0.84	0.13
建設、エンジニアリング、建物	53.74	8.33
プロジェクト管理と会計コスト	4.05	0.63
人件費、予備品費	1.37	0.21
建物の利息	4.00	0.62
合計	64.00	9.92

経済性の評価結果を表 6.8.4 に示す。

表 6.8.4 Rudkøbingプラントの経済性 (丸めた数字)

項目	説明	USD/yr
減価償却	1,000 万USD、n=15、i=10%	1,315,000
燃料	62 USD/tで 13,000 トン	806,000
人件費	4 人×50,000 USD	200,000
保守	投資コスト (1,000 万USD) の 2%	200,000
熱	15 USD/GJ	1,701,000
電気	0.08 USD/kWh	828,000
正味の結果		8,000

例えば、もし全負荷換算での実運転時間数がより長くなるか、あるいは投資コストに補助金を含めるか、より低い利率を考えれば、実際の数字はこれよりも変わってくるだろう。専用CHPプラントにおけるワラの燃焼はデンマークでは経済的に成立する。これは、主に

²⁾ 1997年6月30日現在の為替レート：1 DKK=0.155 USD

熱と電気の両方で高い料金が得られるためである。電気料金はバイオマスを使用して発電した電気に対する 0.04 USD/kWhの補助金を含んでいる。熱の価格は 10-15 USD/GJの幅で変動する。

連絡先：

Mr Kurt Pedersen, Rudkøbing Kraftvarme, I/S Fynsvaerket, DK-5900, Rudkøbing, Denmark.
Tel. : +45-65-904444, fax : +45-65-903812.

参考文献

- [8.1] Rudkøbingプラント, デンマークのRudkøbingプラントに関するBTGのアンケートに対する回答 ; 1997年7月
- [8.2] Rudkøbing Kraftvarmeværk,、パンフレット ; I/S Fynsvaerket.
- [8.3] エネルギー生産のためのワラー技術—環境—経済性 ; バイオマス技術センター ; 1992年
- [8.4] デンマークにおけるワラ、木材、その他のバイオ燃料による熱と電気の生産 ; dk-Teknik ; 1991年4月
- [8.5] デンマークにおけるワラの燃焼の経験 ; dk-Teknik ; 1990年8月
- [8.6] Rudkøbingのワラ焚きCHPプラント—環境に優しいエネルギーの提供 ; CADDET再生エネルギー技術パンフレット No.95 ; 1998年