

第2節

糖質原料からのアルコール製造技術

1. はじめに

発酵アルコールの原料は、次の3種に大別することができる。

- ① 糖質原料
- ② でんぷん質原料
- ③ セルロース系原料

この節で述べるのは糖質原料からのアルコールの生産技術であるが、糖質原料にも各種のものがある。まず第一は糖みつである。糖みつには2種類あり、サトウキビから砂糖を生産する場合の副産物である甘しょ糖みつ(blackstrap molasses)と、同じくてん菜からの糖みつ(beat molasses)である。糖みつは製糖工業の副産物として、価格の安いことからアルコール原料として有力な地位を占めているが、糖みつの母体であるてん菜も西ヨーロッパ、特にフランスにおいては発酵アルコールの原料として首位を占めている。

また、最近ではブラジルにおいては石油の代替燃料としてアルコールの大増産が行われており、原料として糖みつのみでは不足するため、サトウキビの搾汁(cane juice)が直接使用されていることは周知の通りである。

以上のほか、最近注目されている糖質原料として、サトウモロコシ(sweet sorghum)がある。この作物は従来アルコール原料として利用されていないが、サトウキビの収穫期が、年間6～9カ月でそのほかの季節には工場の作業は休止せねばならないため、休止期間中の補完原料として有望視されている。

表-1 サトウキビ、てん菜、サトウモロコシおよびキャッサバのha当り収量とアルコール原単位ならびにアルコール収得量¹⁾

	ha 当りの 1年間の収 量 (t)	アルコール1kl 当り原料使用量 (t)	ha 当り1年間の アルコール収得量 (kl)
サトウキビ	55	14.3	3.8
てん菜	42	11.8	3.5
サトウモロコシ	62.5	12.6	4.9
キャッサバ	15	5.55	2.7

注：てん菜の収量は西独の平均値、その他は中南米およびアフリカの平均収量

表-2 サトウキビ、サトウモロコシおよびキャッサバからエタノールを生産する場合のエネルギー収支¹⁾

	ha 当り1年間の エネルギー投入 量($\times 10^7$ kJ)	ha 当り1年間の エネルギー収 得量($\times 10^7$ kJ)	エネルギー 収 支
サトウキビ	6.26	8.4	1.34 (+34%)
サトウモロコシ	10.27	11.0	1.24 (+24%)
キャッサバ	4.80	5.9	1.07 (+7%)

注：エタノール1klのエネルギー量を 2.2×10^7 kJとして算出

これらの作物の ha 当り収量とアルコール原単位を示すと表-1の通りである。比較のために、代表的なでんぷん質原料であるキャッサバの数字を併せて示した。この表にみるように、3種の糖質原料はでんぷん質原料(キャッサバ)に比べて有利なバイオマス原料であり、特にサトウモロコシは優れた原料である。

次にこれらの原料から、アルコールを生産する場合のエネルギーバランスをみると、表-2の通りである。表-2によると、エネルギー収支はサトウキビが最も優れている。なお、サトウキビのバガス、サトウモロコシの茎葉は燃料として利用されるが、これらはエネルギー計

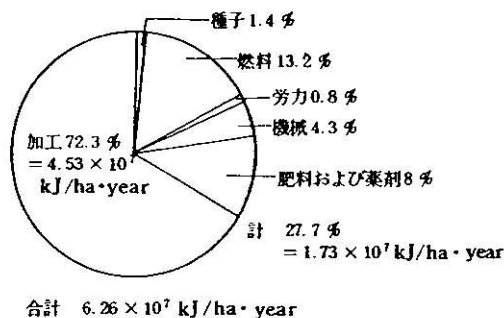


図-1 サトウキビからエタノールを生産する場合の耕作と加工に投入されるエネルギーの割合¹⁾

算には入っていない。

参考のために、サトウキビからアルコールを生産する場合、1ha当り1年間のエネルギー投入量の割合を図-1に示す。

2 発酵原料としての糖質原料の特性

前項に述べた糖質原料のうち、サトウモロコシはアルコール原料として工業的に使用された実績はないが、ここではサトウキビ、てん菜およびこれらから得られる糖みつと併せて解説する。

2.1 サトウキビおよび甘しょ糖みつ

発酵原料としてサトウキビの化学的組成は、その品種、栽培条件および栽培地の土質により大きな差異がある。一例として、表-3に一般的な化学成分を、また表-4に酵母の栄養に重要な関係がある灰分の含有量を示す。主成分は13%程度のショ糖と約10%の繊維である。繊維分はサトウキビからの製糖工程中にバガスとして圧搾、除去され、製糖工場またはアルコール工場の燃料として使用される。最近ではパルプ原料としての用途も開発されている。

従来、発酵原料としてサトウキビが直接使用されることはなく、すべて製糖工程の副産物である廃糖みつ (blackstrap molasses) が使用されており、まれにサトウキビの搾汁をそのまま煮詰めた high-test molassesが

表-3 サトウキビの一般組成²⁾

乾物量	25.50 (%)
ショ糖	12.50
グルコース	0.90
フルクトース	0.60
細胞膜成分	10.00
うち、セルロース	5.50 (%)
ペントサン (キシラン、アラバン)	2.50
リグニン	2.00
含窒素化合物	0.40
うち、アルブミノイド	0.12
アミド (アスパラギンとして)	0.07
アミノ酸 (アスパラギン酸として)	0.20
硝酸	0.01
アンモニア	こん跡
プリン	こん跡
灰分	0.50
油脂	0.20
ペクチン	0.20
遊離酸、結合酸 (マロン酸、コハク酸、アコニット酸)	0.20

表-4 サトウキビの灰分の組成²⁾

Fe ₂ O ₃	こん跡	SiO ₂	0.25 (%)
CaO	0.02 (%)	P ₂ O ₅	0.07
MgO	0.01	SO ₃	0.02
Na ₂ O	0.01	Cl	こん跡
K ₂ O	0.12		

利用されるのみであった。しかし、最近バイオマスエネルギーとしてのアルコールの価値が、石油価格の高騰とともに各国において認識されるようになり、糖みつのみでは原料に不足することから、特に製糖工業の盛んなブラジルにおいては、直接サトウキビの搾汁 (cane juice) からのアルコール生産が大規模に行われるようになった。

cane juice の製造は、製糖工程の前半の作業と全く同様な方法で行われる。すなわち、cutter または shredder で細断されたサトウキビの細片は、圧縮機により圧搾されて juice とバガスに分離される。バガスにはさらに水が注加されて残存する糖分が回収される。注加水の大部分はバガスとともに排除されるので、得られる cane juice の組成はサトウキビの汁液の組成とほぼ同様であ

る。

最近では圧搾法の代りに、浸出法(diffusion)が行われるようになった。この方法はてん菜糖の製造の際に行われている方法で、細断したてん菜中の糖分を温水で向流式に抽出するのであるが、圧搾法より高い糖分抽出率が得られること、設備費、維持費が少ないこと、所要動力が少なくすむことなどの利点をもつため次第に普及している。また、得られる juice中の不純物含有量も当然少ない。圧搾法の工程の一例を図-2に、また抽出法を図-3に示す。

cane juiceを清浄にして煮詰めたシロップは high - test molasses と呼ばれ、従来から発酵原料として使用されている。この製品は、砂糖の市況の悪いときに砂糖の過剰生産を防止するために生産されるもので、酸または酵母の酵素(invertase)によりショ糖の一部を転化糖とし、貯蔵または輸送の途中にショ糖の結晶が析出しないよう処置を施して濃縮した糖汁である。組成は全固形分が80~85%、ショ糖15~35%、転化糖40~60%、灰分

2~4%、糖以外の有機物4~8%で、全糖分の約95%が発酵性糖分である。

甘蔗糖工場の副産物である廃糖みつの成分は、サトウキビの品種、製糖方法特に cane juice の清浄法などによりかなりの差が認められるが、一般的な組成は固形分83~85%、ショ糖30~40%、転化糖12~18%、灰分7~10%、糖以外の有機物20~25%、窒素分0.5~0.7%で、糖の約90%が発酵性である。糖みつの中には、サトウキビの微量成分が濃縮された状態で含有されており、これらは酵母の栄養分として有効である。特にサトウキビのビタミン類は製糖工程中に破壊されることなく、糖みつ中に移行していることは重要である。表-5に各種糖みつの組成を、また表-6にblackstrap molasses と beet molasses のビタミン含有量を示す。

糖みつは濃厚な組成をもつため、きわめて変質しやすい原料であるが、高温な熱帯地方では保管が不完全なとき汚染を受けやすい。Torula 属酵母の汚染を受けた糖みつが、初め66.1%の糖分含有量であったものが2週

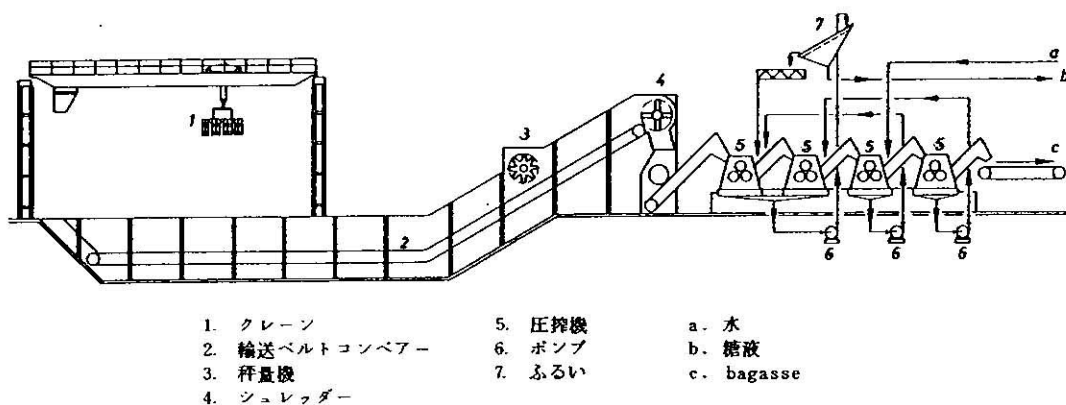


図-2 サトウキビ圧搾装置³⁾

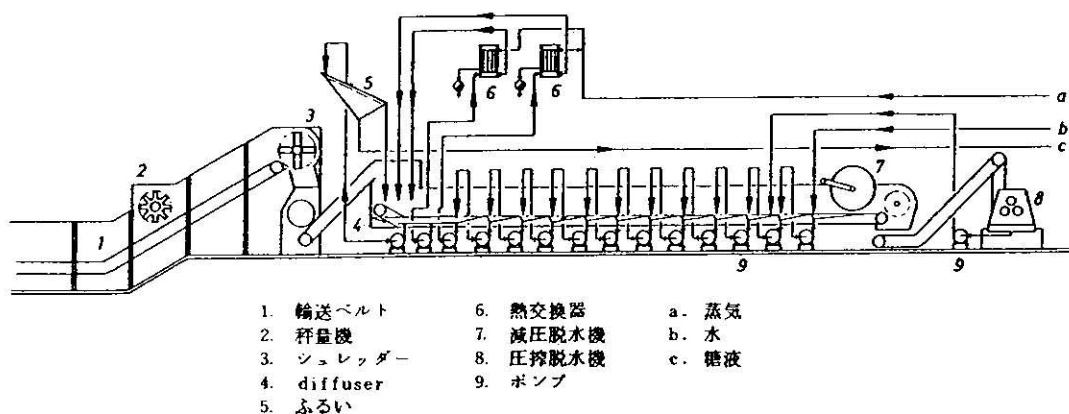


図-3 サトウキビ抽出装置³⁾

表一五 各種の糖みつの組成¹⁾

項 目	てん菜糖みつ(U.S.産)		サトウキビ糖みつ			High-test molasses(サトウキビ)		
	Min	Max	Min	Max	平均	Min	Max	平均
比重	1.31	1.46	1.39	1.44	1.42	1.42	1.45	1.43
pH(2:1に希釈)	6.7	8.8	4.5	6.0	5.5	—	—	6.0
水分(%)	30.0	33.8	16	23	19	14	19	17
乾物量(%)	66.2	70.0	77	84	81	81	86	83
全転化糖(グルコースとして)(%)	43.5	50.2	52	65	56	72	79	75
全窒素(%)	1.23	2.05	0.4	1.5	0.7	0.07	0.20	0.10
灰分(%)	8.46	10.50	7	11	9	2	3	2.25
リン酸(%)	0.005	0.012	0.6	2.0	0.9	0.2	0.6	0.3
カルシウム(%)	—	—	0.1	1.1	0.5	0.03	0.30	0.10
マグネシウム(%)	—	—	0.03	0.10	0.07	0.01	0.03	0.02
カリ(%)	—	—	2.6	5.0	3.6	0.7	1.4	0.9

表一六 糖みつのビタミン含有量(μg/g)¹⁾

	チアミン	リボフラビン	ニコチン酸	パントテン酸 (Ca塩)	葉酸	ビリドキシン (HClとして)	ビオチン
てん菜糖みつ	1.3	0.41	51.0	1.3	2.1	5.4	0.053
サトウキビ糖みつ	8.3	2.5	21.0	21.4	0.038	6.5	1.2

間後には56.4%に低下した例があるという。また1年間貯蔵した糖みつは、アルコール発酵に大きな抵抗性をもつようになり、新しい糖みつを添加しないと発酵は不可能であったという報告がある。

2.2 てん菜およびてん菜糖みつ

2.1項において述べたように、てん菜は有力な発酵アルコールの原料である。わが国では全く顧みられていないが、ヨーロッパの諸国ではアルコール原料として広く使用されている。特にフランスにおいては、ジャガイモ、穀類などのでんぷん質原料からのアルコール製造は禁止されているため、てん菜が発酵アルコールの原料として首位を占め、これによるアルコール生産数量は約12万klときわめて大きな数量を示している。また、アルコール専売制度における収納価格決定の際の標準原料となっている。てん菜の一般組成を表一七に、また灰分含有量を表一八に示す。てん菜糖みつの組成およびビタミン含有量はすでに表一五、表一六に示した。

てん菜を原料として直接使用する場合は、截断したて

表一七 てん菜の一般組成²⁾

乾物量	25.0(%)
シ・糖	17.45
粗たんぱく	0.95
粗脂肪	0.05
粗繊維	1.17
シ・糖を除く可溶性	
無窒素物	4.64
灰分	0.75
有機物	24.25

表一八 てん菜の灰分の組成²⁾

K ₂ O	0.25(%)	P ₂ O ₅	0.08(%)
Na ₂ O	0.04	SO ₃	0.03
CaO	0.06	Cl	—
MgO	0.06	SiO ₂	—
Fe ₂ O ₃	—		

ん菜片を約70℃の温水で向流式に抽出し、得られた糖汁を発酵させる。抽出工程の一例を図一四に示す。

最近、ニュージーランドでは、てん菜の一種である

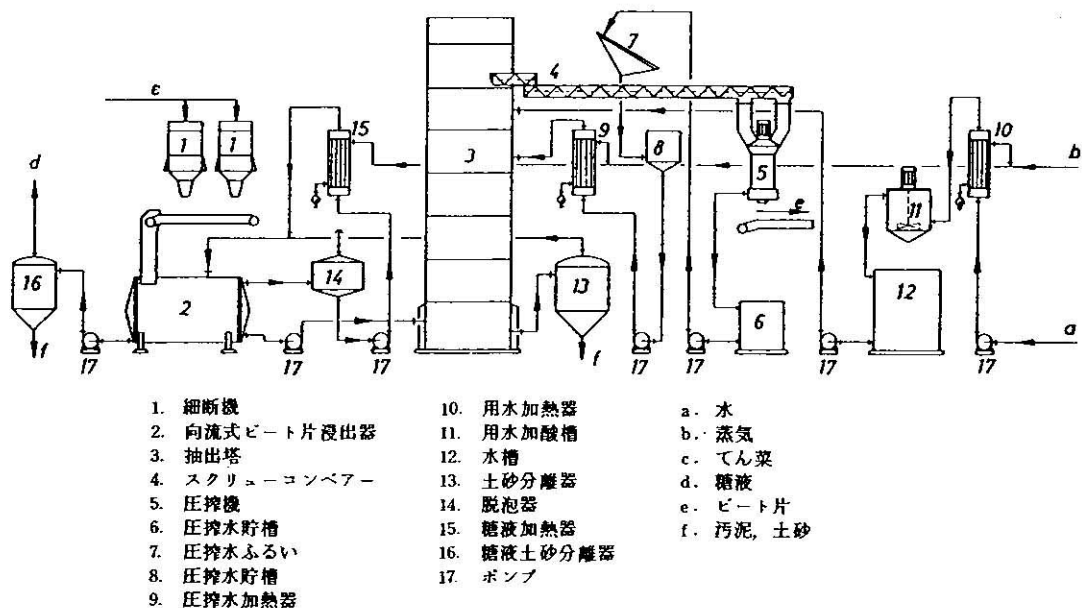


図-4 向流式てん菜抽出装置³⁾

fodder beet (飼料用てん菜)を、発酵アルコールの原料としてバイオマスエネルギーの生産を計画している。

fodder beet は sugar beet と mangold (ふだん草の一種)とを交配した飼料作物で、高収率で強健な作物であるという。灌漑を行った農地における fodder beet の収量は、1ha 当り 120 t に達し糖分含有量は平均 12.8% であるから糖分の収量は約 15 t/ha となり、これより得られるアルコールの量は 9 kl/ha で、サトウキビとてん菜の 4 kl/ha、キャッサバの 2.3 kl/ha、コムギの 1 kl/ha に比較するときわめて有利な原料としている。

beet 類の栽培は、線虫 (nematoda) の害を防止するために、5 年間に 1 作の輪作を行う必要があり、これが発酵原料として利用する際の不利な点である。

2.3 サトウモロコシ (sweet sorghum)

最近、アメリカおよびブラジルにおいて注目されている糖質原料としてサトウモロコシがある。この作物はアメリカにおいて飼料用に栽培されているもので、イネ科の一年生草本である。シロップが製造されている。茎の高さは 3.6~4.25 m に達し、直径は 2.5~5.0 cm である。茎の頂上に種子を生じ、茎の汁液は糖分を含有する。

アメリカにおける栽培試験によると、収量は乾物として 16.8~28.7 t/ha (平均 22.6 t/ha)、糖分の含有量は 4.0~10.5/ha (平均 6.5 t/ha) で、生育日数は南部地方 (緯度 26~32 度) で 240~320 日、中部地方 (緯度

40~47 度) では 90~150 日である。収量は当然南部の方が多。

ブラジルでは収量は 35 t (新鮮なもの)/ha で、アルコール収量は、1,925 l/ha・year であるという。この作物の利点は、種子は飼料として利用され、茎はサトウキビのバガスと同様に燃料として使用できることである。また、ブラジルにおいては栽培の時期を調整して、サトウキビが収穫されない時期すなわちアルコール工場の休止期に、サトウモロコシの収穫が得られるようにして、工場の周年作業を可能ならしめる利点があるという。将来、期待される糖質原料であるということができよう。

3. アルコール製造技術

3.1 アルコール発酵酵母

糖質原料は、でんぷん質原料やセルロース系原料の場合と異なり、直ちに酵母により糖分を発酵させ得る大きな利点がある。

糖みつを原料とする場合、最適の酵母の具備すべき要件は、高濃度の糖を急速かつ効率よく発酵すること、高温と高い固形分濃度に耐性をもつことである。特に高温に対する耐性は重要である。

糖みつを発酵する酵母としてヨーロッパでは甘しょ糖みつに対しては上面発酵のぶどう酒酵母、てん菜糖みつに対してはラフィノース発酵能を有する Rasse D が使用されているというが、わが国では甘しょ糖みつに対しては 1915 年に台湾で分離された *Saccharomyces formosensis* Nakazawa (396号)⁹ がもっぱら使用されている。至適 pH は 2.0 ~ 5.0, 至適発酵温度 33 ~ 35℃, 菌体は通常のアルコール酵母である *S. cerevisiae* よりやや大きく、酵母数 1,000 万個当りの菌体重量は平均 0.48 mg である。

酵母菌株の保存には、麴エキスまたは麦芽汁の斜面寒天培養基に継代培養する。培養は生育の適温 (33℃) で行い、生育後の保管場所は 2 ~ 10℃ の温度とし、湿度は 55 % がよい。4 ~ 6 カ月ごとに継代培養を行う。

アルコール製造に際しては、あらかじめ試験室において予備培養を行う。まず、斜面培養から試験管または小フラスコ中の麴エキス (Bilg. 10 ~ 11°) に移し 33℃ で 24 時間培養し、次に培養液の全量を 2 ~ 4 l のフラスコの培養液 (麴エキスまたは糖みつの希釈液に栄養分を添加したもの) に加え、さらに 24 時間培養した後、十分に増殖した酵母を酒母槽に添加するのである。

3.2 酒母の製造

主発酵に入る前に、酒母槽においてあらかじめ大量の酵母液 (酒母) の製造を行う。酒母製造の目的は、強健な酵母を大量に主発酵モロミに投入して、各種の雑菌の増殖を圧倒しつつ短時間で発酵を終了させ、効率よくアルコールを生成させることにある。酒母槽は小型の発酵槽で、空気と蒸気の吹込装置を備えている。攪拌機や液循環用の draft tube (案内筒) を設けたものもある。

蒸気で予備殺菌を行った酒母槽に、希釈した糖みつ液 (希釈槽がないときは糖みつと汲水を直接導入する) または希釈しない cane juice および助成料 (硫酸、尿素など) を加え、槽の下部から蒸気を送入し、0.5 kg/cm² の圧力で 30 分間殺菌を行う。殺菌終了後は同じく下部から空気を送入しつつ、槽内部を加圧状態にして槽の外壁に灌水して冷却する。33 ~ 35℃ に冷却したときに菌接種口からフラスコ培養の酵母液を接種する。

仕込配合は主発酵モロミより糖濃度を低くし、助成料の割合を多くする。これは発酵中に生成するアルコール

によって、酵母の活性が低下するのを防ぐためである。助成料は糖みつの場合、硫酸および尿素のみでリン酸塩は必要としないが、cane juice または high-test molasses を原料とする場合は窒素のほかリン酸、特に有機性のリン酸 (ヌカまたはフスマなど) の添加が必要である。

酵母接種後は一定時間無菌空気を送入し、酵母の増殖を促進する。通気量は 1/50 ~ 1/25 vvm 程度である。空気は空気圧搾機からろ過器を通して送る。酒母の使用時期は、糖分の 2/3 程度が発酵された頃が適当である。早目に使用の方が死滅細胞数が少なく、酵母の活性も高く有利である。通常は 24 ~ 30 時間で使用する。

3.3 主発酵

大容量の発酵槽に新しく希釈した糖みつ液または糖液を入れ、これに一定の割合の酒母を添加して、36 ~ 48 時間発酵させてアルコールを生成させる工程である。特別の場合を除いて、主発酵モロミの殺菌は行わない。糖みつは濃厚な組成をもち、各種の汚染菌の急激な増殖は困難であること、酒母中の大量の酵母数により、雑菌の繁殖は圧倒されて、順調なアルコール発酵が期待されることがその理由である。

発酵槽に直接、糖みつと汲水を入れて仕込むことも可能であるが、糖みつはきわめて粘稠な液体で水と容易に混和せず、完全な溶解には強力な攪拌と加温が必要であるため、別に発酵槽の 1/2 ~ 2/3 程度の容量の希釈槽を 2 基設備すると便利である。汲水として蒸留作業の廃温水を利用する。廃温水は 55℃ 前後の温度をもち、糖みつの溶解を容易にする。希釈槽においては攪拌しつつ温水中に糖みつを導入し、完全に溶解させると同時に助成料を添加する。前述したごとく、cane juice または high-test molasses の場合は、かなりの割合の助成料を必要とする。そのために、助成料の節約とバッファー効果を挙げて、発酵モロミの pH の急激な変動を避けて順調な発酵を行わせるため、蒸留廃液を汲水の一部に代える方法がとられることがある。この方法は "slopping back" といわれる方法で、high-test molasses の場合はモロミの全容量の 50% 程度まで廃液を使用することができる。また、black-strap molasses の場合でも、10 ~ 20% 程度まで使用が可能であるが、30% を超えると、かえって発酵成績は低下するという。

この方法は、廃液処理に濃縮法を採用する場合には、蒸発コストの低下に大きな効果があることはいままでのない。

希釈槽で完全に溶解した糖みつ液は、熱交換器により発酵の適温（33℃）に冷却されたあと主発酵槽に送入されるが、主発酵槽にはあらかじめ酒母を入れておき、その上に冷却された主発酵モロミを添加することが望ましい。このようにすることにより、湧付きが早くなり、発生する炭酸ガスによりモロミの攪拌が行われ、発酵が促進されるからである。

主発酵における酒母の割合は重要である。この割合が大きいときは、発酵は急速に進行し発酵成績も向上するが、毎日、大量の酒母を製造する必要がある。そのため設備ならびにエネルギー量も増加し作業量も増大する。

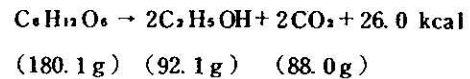
わが国の糖みつアルコール工場では、酒母の割合は5%程度で比較的少ない。多くの工場は発酵槽の容量に余裕があり、したがって発酵時間の短縮を顧慮する必要がないからである。最近、実施されている発酵法は、ある程度発酵したモロミに新しく濃厚な糖みつ液を添加し、時間をかけて発酵せしめ、最終の熟成モロミのアルコール濃度を13～14%程度とする、いわゆる流加法（Zulaufverfahren）が採用されている。省エネルギーの方法としてきわめて有効である。

アメリカにおいても酒母の割合は2～4%と少ない。酒母製造法の変法として、“seeding back”法といわれる一種の段掛け法が行われる場合がある。この方法は、例えば1万galの容量の酒母槽から8時間ごとに半量の5,000galを抜出して酒母として使用し、そのあと新しく殺菌して冷却した糖みつ希釈液を加えて満量として発酵させ、さらに8時間後にその半量を取り出す方法で、2～3日続けたあと、新しい酒母の仕込みを行うのである。設備の節約と時間の短縮に有効な方法として推奨されている。

インドにおいては、酒母槽：前発酵槽：主発酵槽と3段仕込が行われており、その割合はそれぞれ1：5で20%の酒母の割合となり、大量の酒母が使用されている。西独においても3段仕込の形式が行われ、その割合は通常1：10：40（50）であるという。

Ⅰ 発酵経過

発酵は33～35℃で行われるが、その際に酵母菌体の物質代謝により大量の発酵熱が発生する。発酵槽の大型化と仕込濃度の上昇に伴い、熱の発生量は多くなり発酵最盛期のモロミの温度上昇は著しいものとなる。モロミの温度が35℃以上に上昇すると、酵母の増殖は阻止され活性も低下して発酵は停止状態となる。発生する熱量は次の式に従う。



この式によって計算すると、例えば200klの容量の発酵槽に、糖分含量が30tとなるように糖みつを仕込み（熟成モロミのアルコール濃度約9.0%）発酵させた場合、発生する全熱量は約433万1,000kcalとなり、冷却を行わないときモロミの温度上昇は約21.6℃となる。低温の冷却水が得られない場合は、発酵槽の冷却は大きな問題となる。

発酵槽の冷却法として、槽の外壁に灌水して薄い水膜を形成し槽の熱による蒸発潜熱を利用する方法、槽の内部に備えた蛇管に冷却水を通しモロミと熱交換を行う方法または槽の外部に熱交換器を設置し、ポンプでモロ

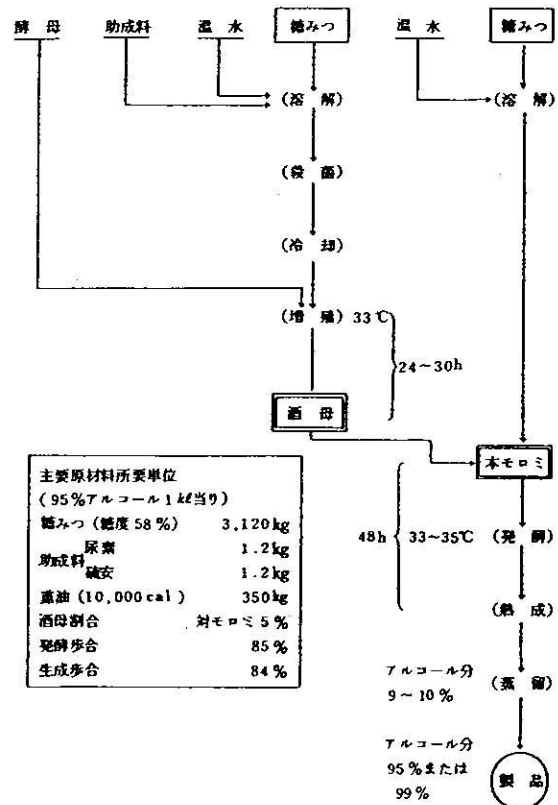


図-5 糖みつを原料とするアルコール製造工程説明図
(アルコールハンドブックより、一部改変)

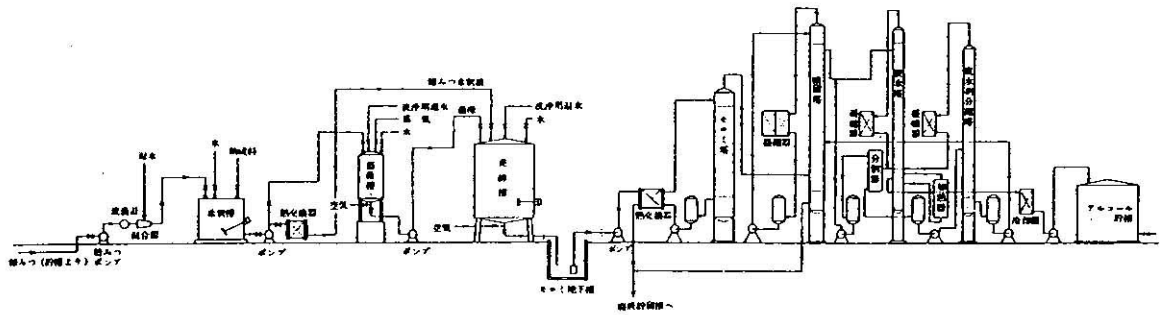


図-6 回分式発酵法によるアルコール製造工程図(著者・原図)

表-9 発酵温度と各種発酵要因との関係⁶⁾

平均発酵温度(℃)	24.14	26.06	28.12	29.14	30.01	31.99	32.95	34.91
発酵歩合(%)	9250	9351	9446	9331	9343	9146	9241	9239
フーゼル油(mg/100ml)	1479	1978	1892	1909	1661	1374	1416	1398
酵母数(個/ml)	163×10^6	203×10^6	147×10^6	129×10^6	121×10^6	133×10^6	137×10^6	95×10^6
発酵時間(hr)	27	24	21.5	16	16	15	14.5	14.5

表-10 仕込配合の一例

(アルコール・ハンドブックより)

	酒母モロミ	本モロミ
糖みつ(糖度55%)	4,884(kg)	3,695(kg)
硫酸	20 "	20 "
尿素	20 "	20 "
汲水量(55℃)	14.5(kℓ)	62.9(kℓ)
酒母添加量	—	6.0 "
モロミ容量	18.0(kℓ)	94.8 "

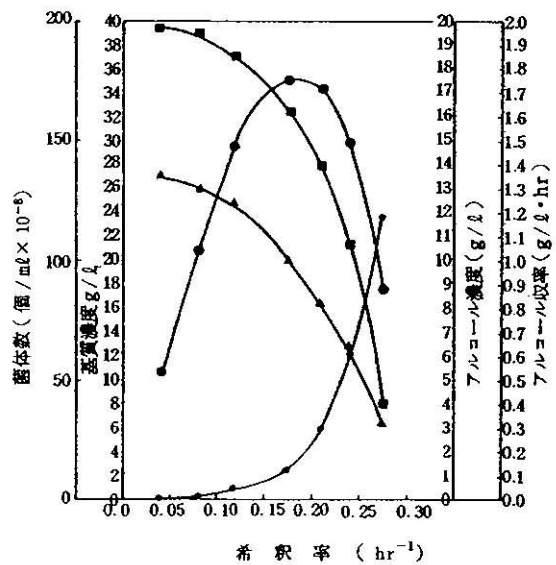
ミを循環させて冷却を行う方法などがある。

糖みつの発酵において、発酵温度が各種の発酵要因に及ぼす影響を試験した成績を表-9に示す。この成績によると、発酵歩合が最高を示す温度は28℃であるが、発酵時間は温度の上昇に伴い短縮される。次に糖みつを原料とする場合の仕込配合の一例を示す。この場合の主発酵の時間は約48時間で、熟成モロミのアルコール濃度は12.2%モロミの酵母数は $80 \sim 100 \times 10^6/ml$ である。模式図と原単位を図-5に示す。

以上に述べたアルコール製造方法は、従来から実施されている回分式の方法であって、蒸留工程をも含めた全工程図の一例を図-6に示す。

3.4 連続発酵法

単一の攪拌式発酵槽において、連続的に糖液を供給して連続発酵を行う場合、菌体数および基質と生成アルコールの濃度は希釈率すなわち糖液の供給速度と関連する。



(○) 基質, (▲) 生成アルコール濃度,
(■) 菌体数, (●) アルコール収率

図-7 希釈率とアルコール生産との関係⁷⁾

これらの関係を図示すると図-7の通りである。

この図によると、希釈率が 0.27hr^{-1} になると菌体数とアルコール濃度は流失の結果0に近づいて限界を示し、希釈率が 0.182hr^{-1} のときアルコールの収率は、 $1.75\text{g}/\ell\cdot\text{hr}$ と最高を示す。しかし、このような酵母の自然増殖による連続発酵は現在行われていない。それは、この場合雑菌による汚染が急速に系全体に拡がり、アルコールの収率を著しく低下させるからである。

現在、フランス、ブラジルなどで実施されている連続発酵法は、フランスの Usine de Melle 社と Boinot 社により開発された方法で Melle - Boinot 法と呼ばれている。この方法は、発酵を終了した熟成モロミを遠心分離機に導き、酵母を酵母乳として回収して新しい糖みつモロミに添加して発酵させる方法で、酵母の循環再使用法 (reuse process) である。

回分式発酵法の場合は、原料中に含有される発酵性糖分の約2~3%は、酵母菌体の増殖に消費されアルコール発酵に利用されない。この損失を防止してアルコールの収率を向上させるために、酵母の reuse による連続発酵法では、大量の回収酵母を新しい糖液に加えることにより、酵母数を一定の飽和度 (酵母乾物として $10\text{g}/\ell$ 以上、酵母数 $2\text{億}/\text{ml}$ 以上) に達せしめると、酵母の増殖は抑制され発酵時間は著しく短縮される。発酵中に混入する酪酸菌や乳酸菌などの汚染菌は、酵母より小さく比重も軽いために、酵母分離機より流出し大部分は除去される。

また、分離機より回収された酵母乳液は、硫酸酸性の液中に導いて pH を 2.0~2.5 に保持しつつ、1~3 時間十分に洗浄して再使用する。いわゆる「酸浴 (Säurebad)」と呼ばれる操作で、この工程により汚染菌の殺菌と酵母活性の回復が行われるのである。酸浴を行った酵母は 10~11% の高濃度のアルコールに対して耐性はないという。

原料糖みつの中には、製糖工程において添加された石灰や、サトウキビの繊維の小片などの汚泥分が含有されている。これらは熟成モロミ中に混入して遠心分離の際に、酵母菌体とともに乳液中に回収され、濃縮、蓄積する。したがって、糖みつ中の汚泥は連続発酵の場合は、あらかじめ除去しなければならない。この作業は清澄 (clarification) といわれ重要な工程となっているが、回分式発酵の場合は省略することができる。

糖みつの清澄法として、希釈した糖みつを加熱して汚

泥分を凝固させる方法、酸またはアルカリを添加して pH を変化させ固形分を沈降、分離する方法、化学凝固剤として過リン酸塩、水ガラス、タンニンなどを加えて汚泥を凝固させる方法などがある。最近では希釈して加熱した糖みつ液を clarifier と呼ばれる遠心分離機に導いて、連続的に汚泥を分離する方法がもっぱら利用されている。著名な clarifier として、Westfalia (西独)、De Laval (スウェーデン)、Titan (デンマーク) などがあるが、最大の性能をもつ De Laval QX 21030 型は回転数 $4,500\text{U}/\text{min}$ 、所要動 9.0kW で 1 時間当り $2,000\sim 5,000\text{kg}$ の糖みつの処理能力がある。汚泥は連続的に排出される。

このようにして糖みつをあらかじめ清澄にしておくと、蒸留工程においてモロミ塔にスケールが沈着する心配もなく、また蒸留廃液の濃縮の際もスケールトラブルを予防することができ、さらに廃液に飼料酵母 (*Torula* 属酵母) を培養して回収することも可能である。酵母菌体の固定化による連続発酵の際にも、清澄糖液は不可欠の前提条件である。

Melle - Boinot 法による連続発酵は、わが国の糖みつアルコール工場では実施されていない。その理由として、わが国のアルコール工場が設立の当初、でんぷん質原料によるアミロ法を採用して製造を行っていたため、発酵槽の容量に余裕があり (アミロ法では糖化に 24~36 時間を必要とする)、その結果、糖みつ原料に転換後は発酵時間の短縮を顧慮する必要がなく、濃厚仕込の方向へ進んだことは前述した通りであり、さらに高価な clarifier や酵母の遠心分離機の設置を避けたことも理由の一つであろう。アメリカにおいても、糖みつによる連続発酵は行われていない。

連続発酵では完全な無菌操作を行うことは不可能である。したがって高温地域のブラジルでは、強力な殺菌剤である pentachloro phenol (PCP, 商品名 Emulsan AL) を発酵の初期に添加する方法が採用されている。また、ペニシリンを使用する場合もあるという。

連続発酵の例として、デンマークの Danish Distilleries 社が開発し実施している方法を述べる。

糖みつ (てん菜糖みつ) を希釈し、助成料としてリン酸二アンモニウムを加え、硫酸により pH を 5.0 に調整する。この液をプレート式熱交換器により、 100C に加熱して殺菌を行い、次に冷却して 35C とする。発酵槽は $170\text{k}\ell$ の容量の槽を 2 基、直列で使用する。第 1 槽の溢

表-11 連続発酵の特性値⁸⁾

(6,000 kgの糖みつを22,000 L/hrに希釈して使用)

	第 1 槽	第 2 槽
滞留時間 (hr)	10.5	10.5
Bg ⁰	11.0	7.2
酵母量 (乾物, g/L)	10	10
PH	4.7	4.8
アルコール (vol %)	6.1	8.4
残糖分 (%)	1.0	0.1
温度 (℃)	35	35

流は第2槽に入る。糖みつは第1槽に一定の割合で供給され、発酵を終了した熟成モロミは第2槽から酵母分離機に入る。ここで分離された酵母乳は、pH 2.0で1時間酸浴を行い第1槽へ返送される。酵母乳を分離したモロミは蒸留工程へ送られる。

連続発酵は2週間続けられ休止する。酵母は休止期間中冷却して保存され、次の2週間の作業に使用される。発酵開始後1週間で、プレート培養によりモロミ中の雑菌数を計測し、1 ml中の雑菌数が100のオーダーであれば満足すべき成績とみなされる。発酵作業の特性値を表-11に示す。

収率は100 gの糖みつ当り28~29 l、100kgの発酵性糖分に対し最高約65 lできわめて優れた成績である。酵母数は重要で、10 g/l (乾物、ほぼ2億/ml)を下回ってはならないという。連続発酵によりアルコール収率は向上し、発酵時間は短縮されるので、発酵槽の容量を減少させることができる。さらに設備は簡易化され作業は安定する。反面、この方法は弾力性に欠け汚染を受けやすい。したがって、フル能力の一系列の装置を備えるよりも、半分の能力をもつ系列を二つ備える方が有利である。

4. アルコール発酵技術に関する最近の研究

4.1 固定化菌体による連続発酵

この方法については、別の節において詳細な解説が行

われるので省略する。

4.2 Solid Phase fermentation

① EX-FERM process⁹⁾

Guatemalaの中米工業技術研究所のC. Rolz らが開発した方法で、サトウキビを原料とするアルコール発酵法である。

従来、サトウキビを圧搾または抽出して糖液を製造し、これを発酵させていたが、この新方法では抽出と発酵とを一工程で行うもので、彼らはEX-FERM processと呼んでいる。次にこの方法の概要を示す。

洗浄したサトウキビの葉を除去したあと、wood chipperにより茎を0.5~2.2cmのチップおよびビス(木髓部)に細断する。これらのチップとビスはそのまま、または乾燥、貯蔵したものを使用することも可能である。乾燥にはボイラーの熱ガスを利用する。

発酵槽にこれらのチップとビスを充填し、サトウキビと水の比が約1:1.4の割合(重量)となるよう熱湯を注ぐ。これにより殺菌効果がある。次に30℃に冷却して酵母を接種する。糖分が、サトウキビの組織細胞から抽出されるに従い発酵は進行し、希釈率が高いときは6~7時間で、また濃厚な液の場合は24時間で発酵は終了する。発酵終了後、アルコール-水の混合液はサトウキビから分離される(分離器は発酵槽の内部に備え付けられている)。チップとビスは圧搾され、搾汁はアルコール液と混合されて発酵槽に返送され、新しいチップとビスが添加されて第2回目の発酵が行われる。この操作を3回繰り返すことにより最終のアルコール濃度は7g/100mlとなる。

この方法の利点は次の通りである。

- ① 発酵の最終段階で溶液の糖濃度が低下するために、糖分の抽出が完全に行われる。さらに生成するアルコールが、サトウキビの組織細胞中に浸透して組織を崩壊させ、糖の抽出をさらに容易にする。
- ② 糖みつやcane juiceの発酵の際、助成料として無機の窒素分を添加する必要があるのに対して、この方法では酵母が含有するタンパク分解酵素の作用によってサトウキビ中の有機の窒素分の利用が可能である。

試験によると、サトウキビ中のショ糖の99%以上が発

表-12 CSIRO法によるアルコール生産コスト¹¹⁾

工場生産能力 (kl/year)	600	900	1,500	2,000	4,000
固定費 (1,000 オーストラリアドル)	300	406	506	576	833
生産費 (セント/ℓ)	40.0	34.0	28.8	26.6	23.9
25%の資本利益を計上した販売価格 (セント/ℓ)	48.3	40.7	33.8	30.9	27.0
てん菜価格 (生産コストに占める%)	35.8	42.2	49.8	53.9	59.9
必要栽培面積 (ha/year)	88	132	220	293	585

注：てん菜の収量は70t/ha、価格は14オーストラリアドル/tとした。

酵され、120kl/dの能力の工場の経済性を評価した試算によると、設備の投資額は少なくすみ、アルコールの生産コストは0.05ドル(U.S.)/ℓ低下するという。

5. 蒸留技術

② CSIRO法¹⁰⁾

オーストラリアの連邦科学工業研究所(Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization)のK.D. KirbyおよびG.J. Mardorが開発した方法で、てん菜を原料とするアルコール製造の場合に適用される。

従来、てん菜の場合にはまず切断機で2～3mmの厚さの小片に切断し、次にdiffuserで60～80℃の温度で水と向流抽出を行い、約12%（重量）の糖液を得て発酵終了後のアルコール濃度は6%程度にすぎなかった。

CSIRO法では、まずてん菜を機械的にパルプ化し約3mmの立方体とする。次に1Mの硫酸を加えpHを4.5とし、このパルプに10%（重量）の圧搾パン酵母の懸濁液を加える。酸ならびに酵母の添加中は十分に攪拌し、25～30℃で発酵させる。約10～16時間後にパルプを圧搾して繊維を除去し、酵母の大部分を含有する液は遠心分離する。酵母は次の発酵に再使用する。必要な場合は新しい酵母を添加して100ml当り10g（乾物）の濃度とする。酵母を分離した発酵液はアルコール濃度約9.5%で蒸留工程に移される。

この方法においては、高価な抽出装置が不用であるため設備費は著しく節減され、また仕込水が少なくすみ、ところから発酵槽の容量は小さくなり、さらにアルコール濃度が高いのでエネルギーコストも低下する。CSIRO法によるアルコールの生産コストを表-12に示す。

発酵が終了した熟成モロミは、次に蒸留工程により純粋なアルコールとなる。製品アルコールの種類により蒸留装置の構成は異なる。製品としては含水（95vol%）の粗留または精留アルコール、無水（99.5vol%以上）の燃料用または精留アルコールがあるが、燃料用の無水アルコールを製造する場合には、蒸留装置はモロミ塔、精留塔、脱水塔および脱水剤分離塔の4つの塔により構成される（図-6参照）。モロミ塔と精留塔において、低沸点不純物（アルデヒド類）および高沸点不純物（フェーゼル油）を除去された95%のアルコールは脱水塔に入り、残りの5%の水が除去されて無水アルコールとなる。

脱水剤はベンゾールそのほか炭化水素類（シクロヘキサン、ペンタン）が使用される。エチルアルコールの沸点は78.3℃であるのに対して、エチルアルコール95.57%（重量）および水4.43%（重量）の割合の二成分共沸混合物が生じ、その沸点は78.15℃で純エチルアルコールの沸点よりも低い。したがって、水-アルコールの混合液は両者の沸点の差による分別蒸留では、前記の二成分共沸混合物の濃度以上のアルコールは得られない。

ベンゾールは水およびエチルアルコールと三成分共沸混合物を生成する。その組成は、エチルアルコール18.5%（重量）、水7.4%（重量）、ベンゾール74.1%（重量）の割合でこの混合物の沸点は64.85℃である。したがって95.57%のアルコール溶液にベンゾールを加えて蒸留を行うと、最低の沸点をもつ三成分共沸混合物が初

表-13 アルコール製造のエネルギー消費量³⁾

(100%アルコール, 1ℓ当り)

	糖質原料		でんぷん質原料	
	蒸気量kg	KWH	蒸気量kg	KWH
原料処理	0.01	0.02	0.01	0.02
蒸煮				
回分式	1.0	0.01	3.5	0.04
連続式	0.3~1.4	0.04~0.3	1.1	0.02
発酵	0.01	0.01	0.01	0.01
蒸留				
従来法	4.0~4.5	0.03	4.0~4.5	0.03
圧力差方式	2.5	0.04	2.5	0.04
合計				
従来法による回分方式の場合	5.0~5.5	0.1	7.5~8.0	0.1
	(11,900 kJ)		(17,400 kJ)	
圧力差方式による連続法の場合	3.0	0.4	3.6	0.1
	(8,000 kJ)		(8,300 kJ)	

めに留出し、水の全量は三成分系として除去され、その下部にアルコールとベンゾールの二成分系（沸点 68.25%）が形成され、最低部には純エチルアルコールのみの層が生成することとなる。

三成分共沸混合物は凝縮させて冷却すると二層に分離する。上層はベンゾールに富む層であるから、脱水塔に返送して循環使用し、下層の水-アルコールに富む層は脱水剤分離塔に導き、上部で生成する三成分共沸混合物は分別器に送って脱水剤を分離して再使用し、塔の下部から排出される水-アルコール液は精留塔に送って濃縮する。蒸留工程はアルコール製造において、最もエネルギーを消費する部門で、そのために蒸気の節約に多くの提案がある。

蒸気量節約の一つの例として、並列の二重モロミ塔方式がある。第1モロミ塔は高圧（6bar）で、第2モロミ塔は低圧（3bar）で操作される。第1モロミ塔への供給量は第2モロミ塔への供給量より10%多く、したがって第1モロミ塔の頂部のアルコール含有蒸気は第2モロミ塔のreboilに十分である。この方法により約1/3の蒸気が節約されるという。アルコール製造における全エネルギー消費量を表-13に示す。比較のために、でんぷん質原料の場合も掲げた。

最近、膜によるアルコールの分離法が研究され開発されている。まだ実用化に至っていないが、成功すれば蒸留法に代る省エネルギー的アルコール分離法として画期

的な方法である。

6. 副産物の利用と廃液処理技術

6.1 副産物の利用

アルコール発酵に伴って純度の高い炭酸ガスが大量に生成する。100gの転化糖から理論上51.14gのエチルアルコールと48.86gの炭酸ガスが生成する。したがって年間1万klの能力のアルコール工場においては、7,460t/年の炭酸ガスが得られ、利用率を80%とすれば約6,000tの生産量となる。発酵槽から発生する炭酸ガスは、洗浄器を経て圧縮機により約16気圧に圧縮され、脱臭器、乾燥器を経て凝縮装置において-25℃位まで冷却され完全に液化される。

わが国では発酵炭酸は全然利用されていないが、高温の地方では液化炭酸やドライアイスの需要は多いと考えられるので検討が必要であろう。また、炭酸ガスはクロレラの培養に利用される。太陽光線に恵まれた地方は、クロレラの培養に適しており、これも検討の対象となる。

蒸留廃液の利用の方法として飼料酵母の製造がある。

アルコール発酵酵母 (*Sacchromyces* 属) は原料中の 6 炭糖 (hexose) のみを資化するのに対して, *Candida* 属の酵母 (*C.utilis*, *C.tropicalis* など) は hexose のほか pentose, グリセリンおよび有機酸を資化して増殖する。したがって糖みつの蒸留廃液にこれらの酵母を接種して増殖させ菌体を回収し, 飼料酵母として利用することができる。その製造法は次の通りである。

モロミ塔の底部より排出される蒸留廃液は, 新しいモロミと熱交換をしたのち, 清澄化され 36℃ に冷却されて通気培養槽に入り, 少量の助成料 (アンモニア, P_2O_5) を添加され酵母が接種される。発酵は連続的に行われ菌体濃度は 8% (乾物) に保持する。収率は廃液 1kl 当り乾燥菌体として 16~17kg で, すぐれたタンパク飼料である。発酵を順調に行わせるために, 新しい糖みつを少量添加する必要がある。この方法により, 廃液の BOD を約半分に低下させることができる。

6.2 廃液処理技術

糖みつの蒸留廃液は, その含有する非資化性成分により著しく汚染されている。糖みつ 1 t 当りの COD 負荷は 210 kg で, 酵母の再使用を行う場合は 180 kg となる。BOD は平均で COD の約 80% とされている。蒸留廃液の組成 (乾物) の一例を表-14 に示す。1 日に糖みつを 1 t 使用する工場は, 2,000~3,000 人の人口に相当する汚染負荷を示すわけで, 蒸留廃液の処理はきわめて大きな問題である。処理方法の概要を以下に述べる。

① 農地への還元

ブラジルで広く行われている方法で, 蒸留廃液をパイプでサトウキビ畑に導き, 適宜灌水する方法である。設

備ならびに運転の費用も少なく済み, 肥料の節減もできて好ましい方法であるが, 広い面積の農地を必要としまた場合によっては廃液の含有する塩類が土壌に悪い影響を与えるという。

廃液の受入量は農地 1ha 当り 1 日に 4~5 m³ とされている。あらかじめ石灰で中和したり, 希薄なほかの廃液で希釈することが望ましい。

② 好氣的生物処理法

いわゆる活性汚泥法と散水ろ床法で, 廃液中の有機物を微生物の作用によって, 一方では菌体として, 他方では酸化して CO₂ と H₂O に分解する方法である。飼料酵母の製造もこの方法の一種と考えられるが, 糖みつの蒸留廃液の BOD はきわめて高い (3万~5万) ので, 10 倍以上に希釈しないと実施が困難で, 現在, 糖みつ廃液には直接この方法は使用されていない。cane juice または high-test molasses の廃液の場合は実施可能と思われるが, まだ実施例はないようである。

③ 嫌氣的生物処理法

メタン発酵法で得られるガスを, 工場のエネルギー源として利用する省エネルギー的廃液処理法として, 石油価格の高騰とともに再び見直されつつある。この方法については別の節で詳細に説明されるので省略する。

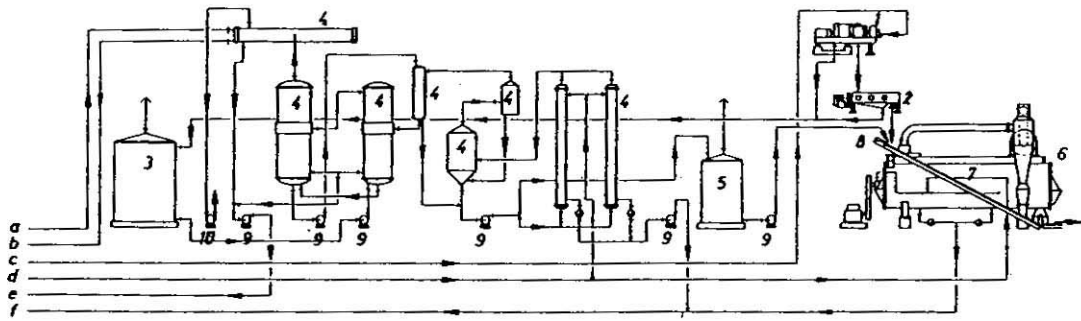
④ 濃縮乾燥法

図-8 に示すごとき装置により濃縮乾燥する方法である。乾燥品は飼料または肥料としての用途があるが, 乾燥まで行わず固形分 70% まで濃縮して, いわゆる Vinasse として飼料に供する場合がある。また濃縮液を海上投棄したり, あるいはボイラーで燃焼する方法もわが国では行われている。

濃縮の際に生成する凝縮水中には揮発性の有機酸が含まれ, 約 700 ml/l の COD を示すので再処理の必要がある。

表-14 糖みつ蒸留廃液の組成 (乾物中, %) ¹⁾

成 分	%
無 機 物	28.5~29.0
糖 分 (還元糖)	10.0~12.0
タンパク質	8.0~10.0
揮 発 性 酸	1.0~2.0
ゴ ム 質	20.0~22.0
結 合 乳 酸	4.0~5.0
その他の結合有機酸	1.0~2.0
グリセリン	5.0~6.0
ワックス, フェノール化合物, リグニン, グリコッド など	22.0~12.0



- | | | |
|-------------|---------------|----------|
| 1. デカンター | 6. ドラム乾燥機 | a. 冷却用給水 |
| 2. スクリュープレス | 7. スクリューコンベアー | b. 冷却排水 |
| 3. 廃液槽 | 8. スクリュー | c. 蒸留廃液 |
| 4. 真空蒸発缶 | 9. ポンプ | d. 蒸気 |
| 5. 濃縮液貯槽 | 10. 真空ポンプ | e. 混合濃縮液 |
| | | f. 濃縮液 |

図-8 蒸留廃液濃縮乾燥装置³⁾

7. おわりに

糖質原料からのアルコール製造について、その概要を述べた。冒頭に述べたように、でんぷん質と異なり糖質原料は糖化を行う必要がなく、直ちに発酵を行うことができるきわめて有利な原料である。その上、サトウキビ、サトウモロコシの茎の繊維分は工場のエネルギー源として十分なカロリーをもち、エネルギー収支の上から優れた特性を備えている。最近新しい発酵技術、アルコール分離が開発されつつあって将来、大いに期待されるところである。

＜吉川 不二夫＞

参考文献

- 1) Bernhardt, W., Menrad, H.: *Branntweinwirtschaft*, 120; 86, 1980.
- 2) Reiff, F. et al.: *Die Hefen II*, Verlag Hans Carl, Nürnberg, 1962.

- 3) Starcosa GmbH, Misselhorn, K.: *Branntweinwirtschaft*, 120; 2, 1980.
- 4) Underkofler, L.A., Hickey, R.J.: *Industrial fermentations I*, Chemical Publishing Co. Inc. New York, 1954.
- 5) 加藤辨三郎: 日本のアルコールの歴史, 協和醸酵工業社, 1974.
- 6) Chamarro, L.A.: *Sugar y Azucar*, 74; 54, 1979.
- 7) Sitton, O.C., Gaddy, J.L.: *Biotechnol. Bioeng.*, 22; 1735, 1980.
- 8) Rosen, K.: *Process Biochemistry*, 26, May 1978.
- 9) Roly, C. et al.: *Biotechnol. Bioeng.* 21; 2347, 1979.
- 10) Kirby, K.D., Mardon, C.J.: *ibid* 22; 2425, 1980.
- 11) Kirby, K.D., Mardon, C.J.: *Proc. IV Intl. Symposium AFT, Vol. I, Guaruja-SP-Brazil*; 5 - 8, Oct. 1980.

一般参考書

- 1) 本多紀元: アルコールハンドブック, (財)発酵工業協会, 1971.
- 2) 勝目 英: アルコール, (財)発酵工業協会, 1957.
- 3) 朝井勇宜: 微生物工学講座 4, 酵母利用工業, 共立出版社, 1957.
- 4) 山根巖雄: 甘蔗糖製造法, 網光書院, 1966.
- 5) Drews, B.: *Die Praxis des Brennereibetriebes*, Paul Parey, Berlin, 1951.
- 6) Kretschmar, H.: *Hefe und Alkohol*, Springer-Verlag, 1955.
- 7) Dietrich, K.R.: *Ablaufverwertung und Abwasserreinigung in der biochemischen Industrie*, Dr. Alfred Hütig Verlag GmbH, Heidelberg, 1960.
- 8) Olbrich, H.: *Die Schleudertechnik in der Hefe- und Spiritusindustrie*, Institut für Gärungsgewerbe, Berlin, 1954.
- 9) Olbrich, H.: *Die Melasse*, Institut für Gärungsgewerbe, Berlin, 1956.

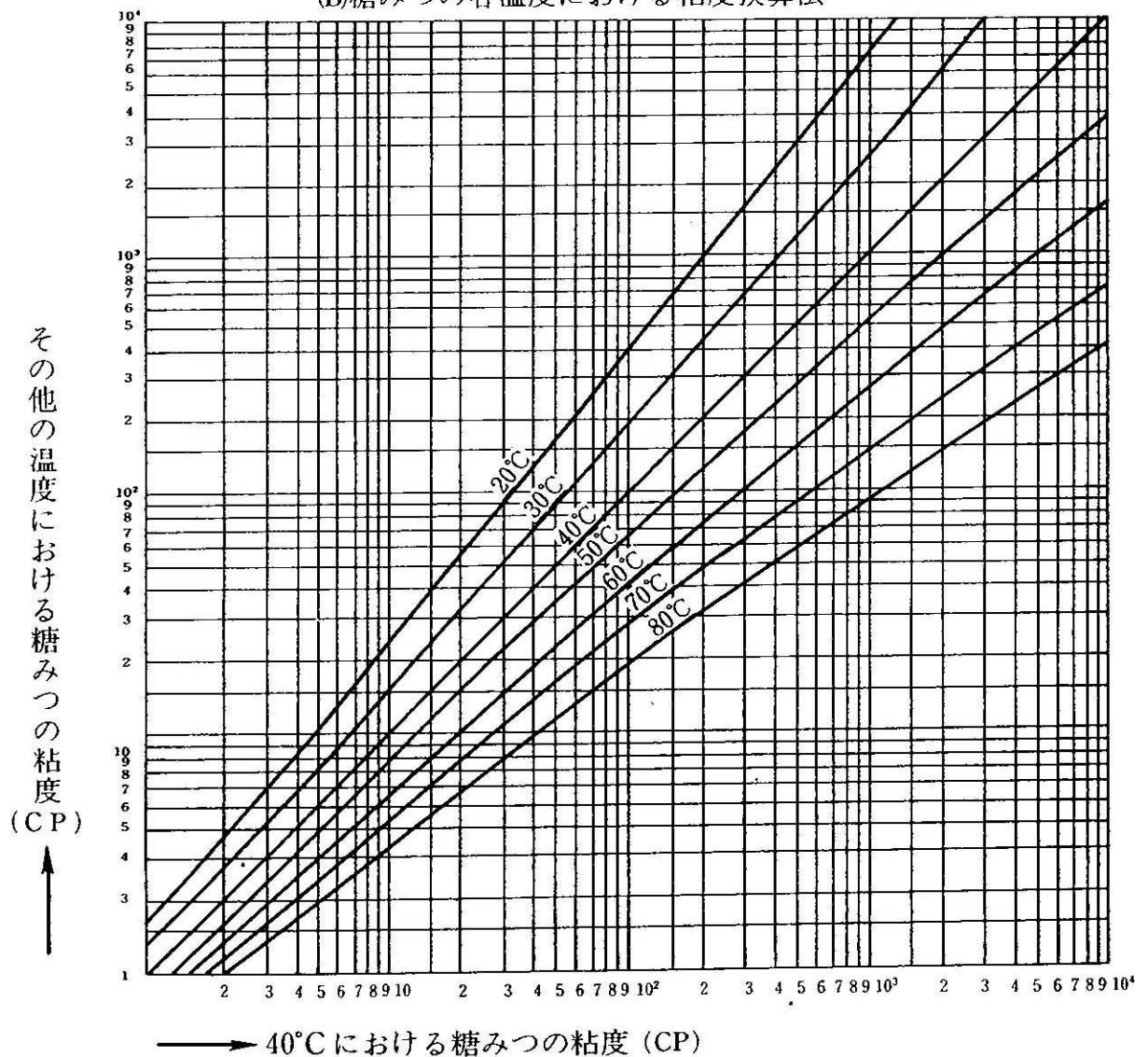
(vi) 糖みつの粘度

(A) 糖みつの温度および濃度による粘度の変化

濃度 (°Bx)	粘 度 (CP)							
	40°C		50°C		60°C		70°C	
	甘蔗糖みつ	てん菜糖みつ	甘蔗糖みつ	てん菜糖みつ	甘蔗糖みつ	てん菜糖みつ	甘蔗糖みつ	てん菜糖みつ
74	360	200	200	120	120	70	75	40
75	460	300	250	160	145	80	90	50
76	610	400	325	200	180	110	130	65
77	850	500	450	260	245	140	150	80
78	1,250	700	600	330	330	180	200	105
79	1,800	1,000	850	470	450	250	265	140
80	2,550	1,700	1,260	700	600	350	350	185
81	3,700	2,400	1,700	1,000	850	470	430	250

〔文献〕 日本精糖工業会：糖蜜ハンドブック（1967）

(B) 糖みつの各温度における粘度換算法



上図は、横軸に40°Cにおける糖みつの粘度をとり、縦軸にその他の温度における糖みつの粘度をとった図で、40°Cで測定した粘度からその他の温度における粘度を、ま

たその他の温度で測定した粘度から40°Cにおける粘度を読み取れるようにしたものである。

(換算例)

20°Cで測定した粘度が2,000CPであった場合40°Cの粘度は、縦軸上で1,100CPの点を探し、この点から横軸に平行線を引き、20°Cの斜線との交点を見つけ、この交点から縦軸に平行線を引いて横軸との交点400CPが40°Cにおける粘度である。

(文献) 日本精糖工業会：糖蜜ハンドブック(1967)

II-1-(2) 甘しよ

(i) 甘しよの生産地別生産量

(単位：t)

年度		54	55	56	57	58
都道府県別						
茨	城	139,200	147,400	185,600	177,700	163,300
埼	玉	23,100	21,500	24,800	21,200	20,700
千	葉	147,200	148,300	159,600	136,800	138,400
静	岡	45,900	43,300	45,300	43,200	46,800
愛	知	27,400	26,500	24,700	23,400	24,200
徳	島	24,900	22,800	28,600	25,500	27,100
愛	媛	18,300	13,500	15,200	15,000	14,100
高	知	19,400	18,500	19,600	19,400	18,900
長	崎	52,200	50,100	52,400	47,600	49,200
熊	本	59,200	45,900	52,400	49,500	47,500
大	分	12,600	9,050	13,000	11,800	11,800
宮	崎	113,200	109,700	130,000	125,400	120,500
鹿	児 島	494,200	498,600	532,100	521,500	534,600
そ	の 他	183,200	161,850	174,700	166,000	1,619,000
	計	1,360,000	1,317,000	1,458,000	1,384,000	1,379,000

(注) 農林水産省畑作振興課調

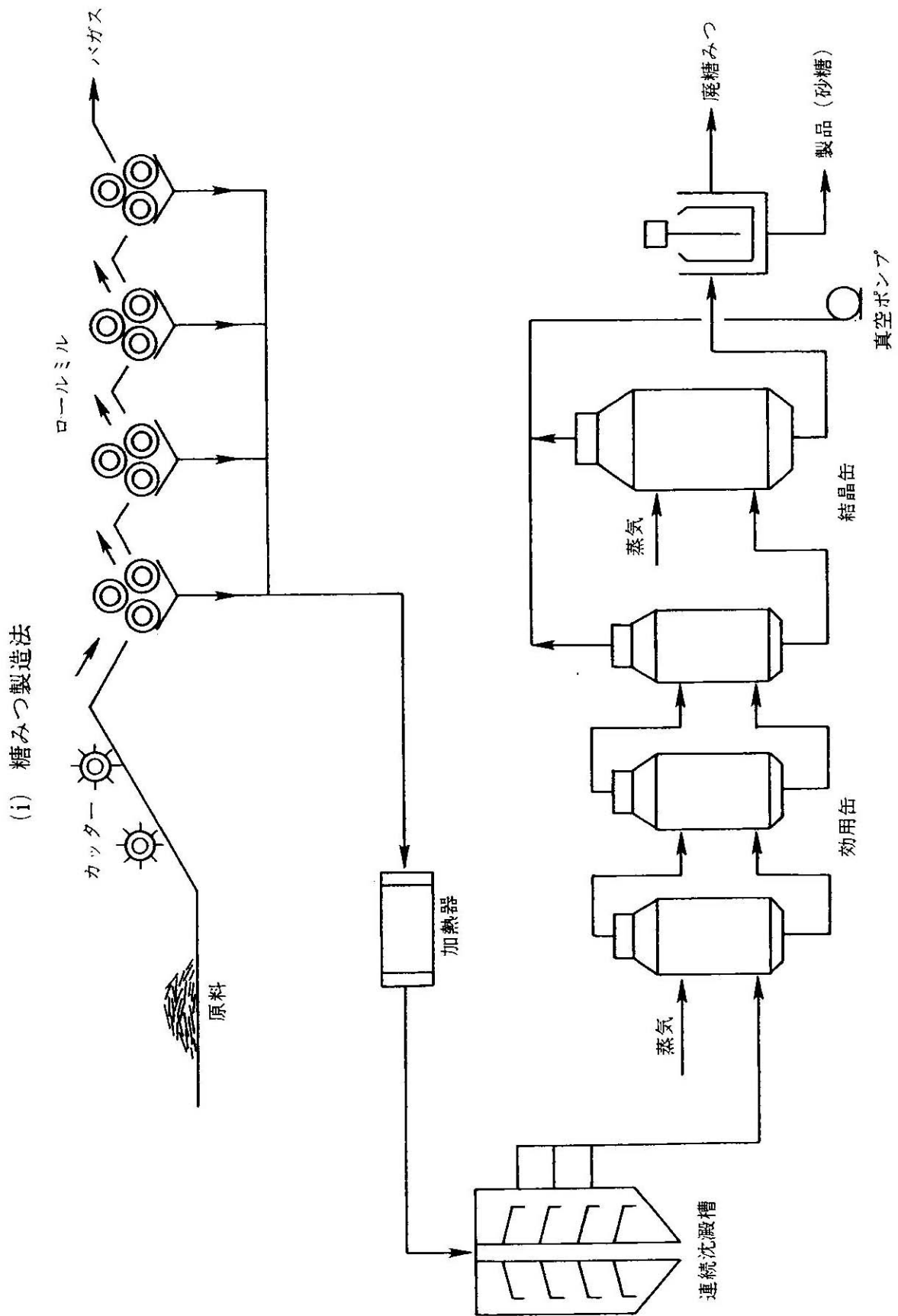
(ii) 甘しよの用途別消費量

(単位：t)

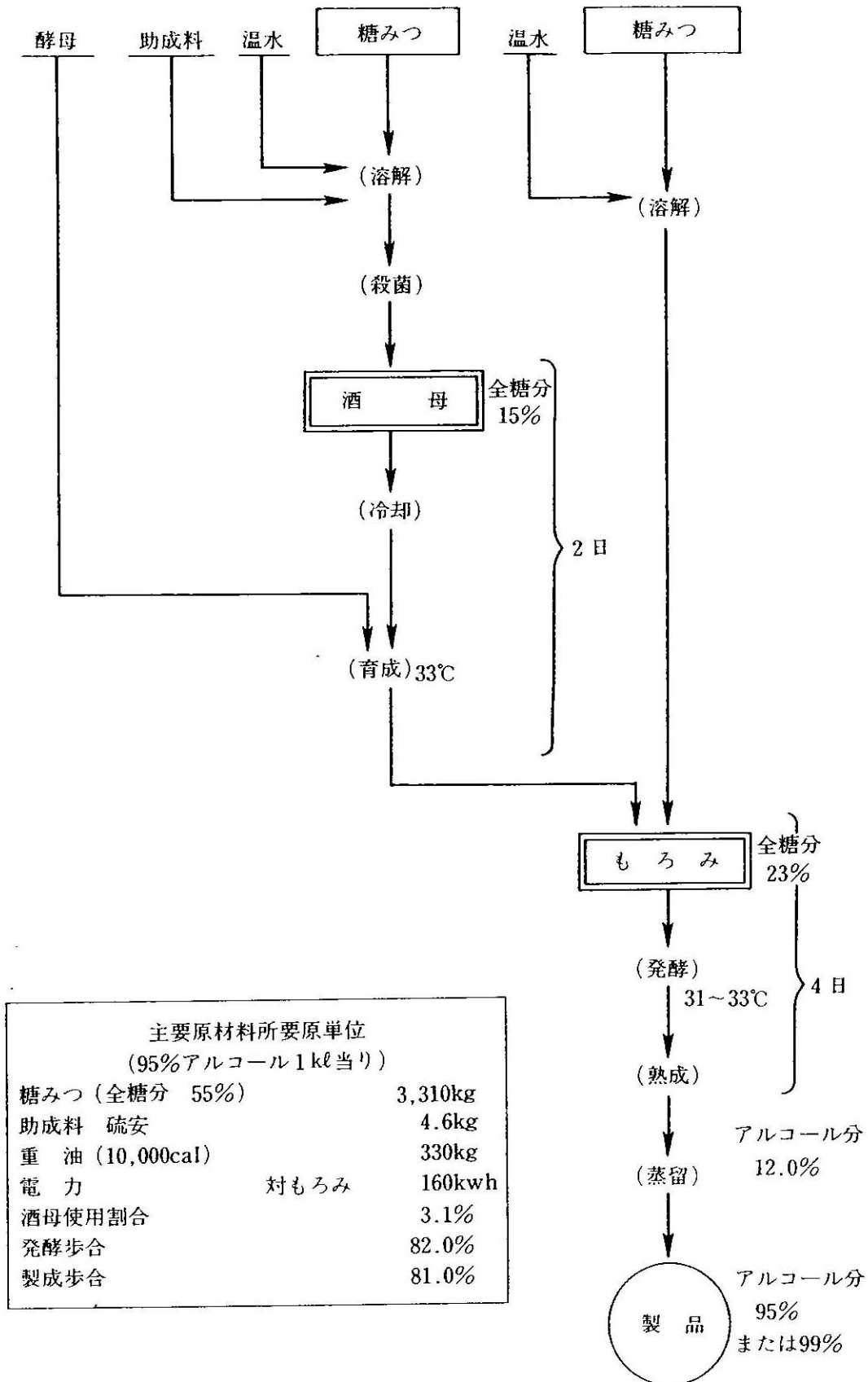
用途	農家自家食用	飼料用	種子用	市場販売用等	でん粉用	アルコール	減 耗	計
53	105,700	250,400	64,300	429,500	401,300	62,000	57,800	1,371,000
54	98,800	246,500	68,000	432,800	372,000	81,400	60,500	1,360,000
55	92,000	230,300	69,500	411,700	375,000	77,900	60,600	1,317,000
56	95,600	247,700	71,200	449,400	404,300	83,700	106,100	1,458,000
57	97,200	181,900	68,900	441,400	416,800	92,000	86,000	1,384,000

- (注) 1. 農林水産省畑作振興課資料による。
 2. 市場販売用等には、蒸切干及びその他加工用、観光農園等の販売食用を含んだ計である。
 3. アルコール用は、生切干用、蒸留酒用、専売アルコール用の計である。

II-1-(II) 糖みつ、果汁みつ、エチレンの製造法

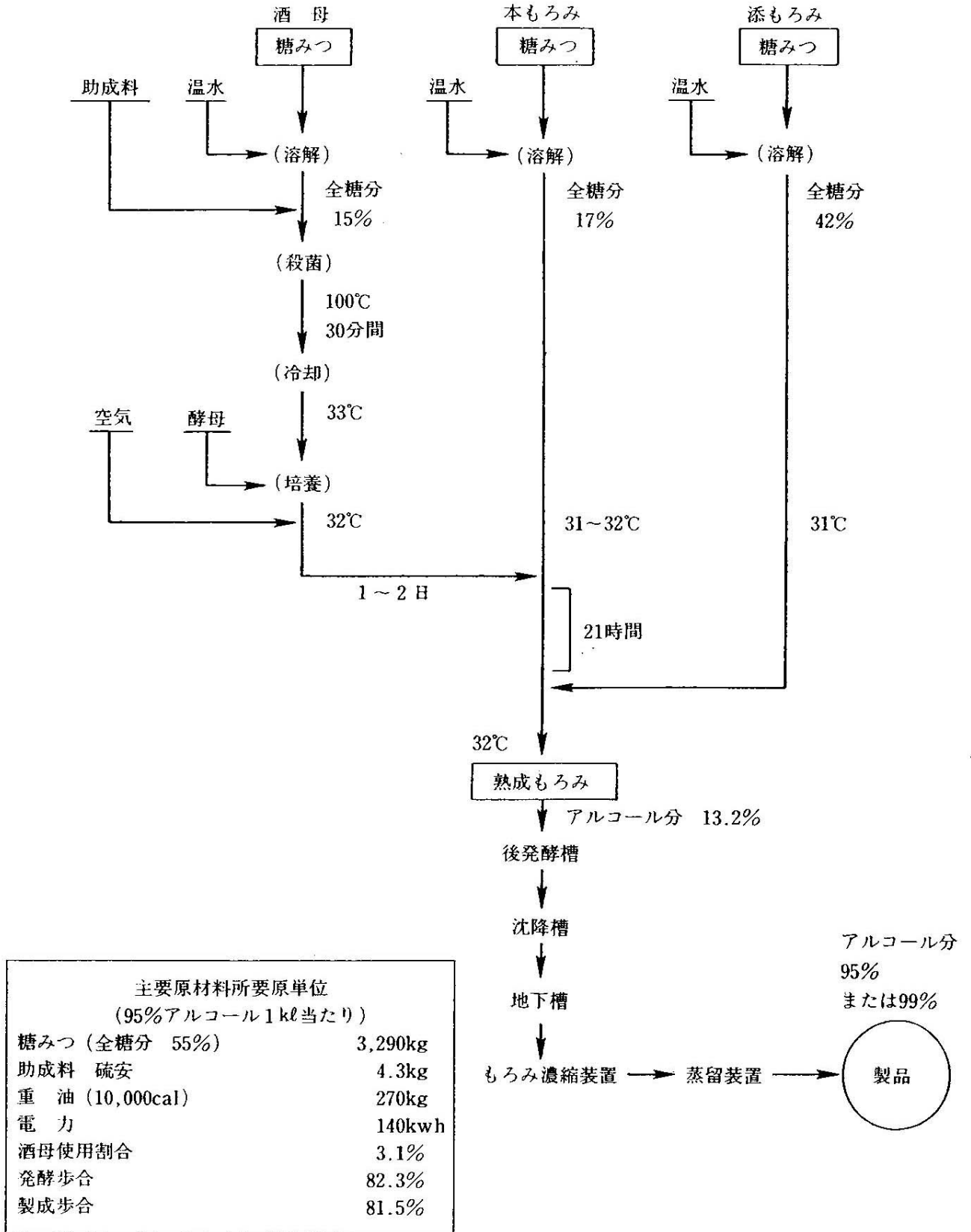


III-1-(7) 糖みつを原料とするアルコール製造工程



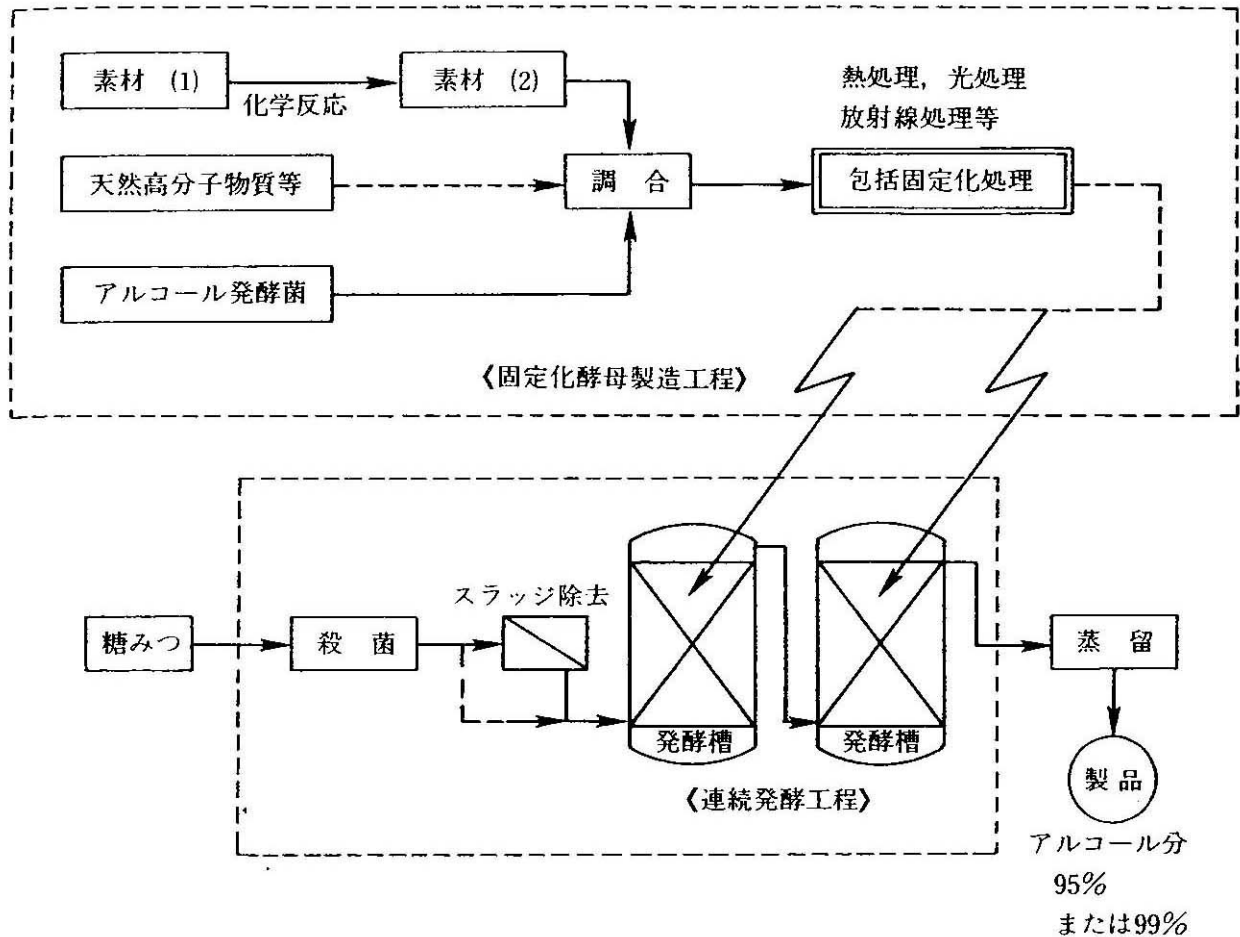
III-1-(8) 糖みつを原料とするアルコール製造工程

(添掛法)



III-1-(9) 糖みつを原料とするアルコール製造工程

(固定化酵母法)



糖みつを原料とするアルコール製造工程

(固定化酵母法)

固定化酵母発酵法の特徴は、固定化酵母の製造とそれを用いて連続的にアルコールを生産することによる。

固定化酵母の製造は、特殊な樹脂原料あるいは天然高分子物質等の中から酵母固定に最適な素材を選定し、かつ種々の前処理を施した後、所定濃度の酵母液と調合する。

次いで酵母を失活させない程度の温和な反応条件で包括固定化処理を行う。この場合の手段として、例えば熱、光あるいは放射線等が通常用いられる。

発酵工程ではこのようにして製造された固定化酵母の発酵特性を十分に発揮させるため、固定化物および発酵槽の形状ならびに操作条件等に種々工夫が施される。

原料糖液を導入することにより、固定化物中の酵母は増殖を続け50～100時間後には定常濃度のいわゆる“固定化増殖酵母”となり、その後は増殖と失活の速度が一定となり、同時に一定量のアルコール生産速度を保持し、連続発酵が達成される。

〔文献〕 RAPAD 55年度公開年報

III-2-(6) 糖みつを原料とする仕込配合およびもろみ経過表 例

(i) 酒母もろみ

仕込配合	主原料	タイ産糖みつ (糖度53.75%)	2,525kg
	助成料	硫酸	20kg
	温水量	(60℃)	7.2kg
	殺菌	100℃	30分
	蒸煮もろみ容量		9.0k/l

経過時間	酸 度	PH	全 糖	ブリックス	酵 母 数
0	1.60	5.50	15.08	21.80	
27	6.60	4.95			13,000万/ml

(ii) 本もろみ

仕込配合	主原料	タイ産糖みつ (糖度53.75%)	40,457kg
	助成料	硫酸	10kg
	温水量		66.0k/l
	殺菌		無殺菌
	酒母添加量		3.0k/l
	熟成もろみ容量		97.5k/l

経過時間	酸 度	PH	全 糖	アルコール	備 考
0	2.24	5.34	22.89		熟成もろみアルコール
42	7.60	5.10		10.4	生成量11,700ℓ
72	7.00	5.19		11.9	発酵歩合 81.85%
96	7.81	5.18		12.0	発酵時間 120時間
126	7.95	5.16	1.63	12.0	

III-2-(7) 糖みつを原料とする添掛法の仕込配合
およびもろみ経過表 例

(i) 酒母もろみ

仕込配合	主原料	タイ産糖みつ (糖度53.50%)	2,533kg
	助成料	硫酸	20kg
	温水量	(60℃)	7.2k/l
	殺菌	100℃	30分
	蒸煮もろみ容量		9.0k/l

経過時間	酸 度	PH	全 糖	ブリックス	酵 母 数
0	1.60	5.40	15.06	21.8	13,200万/k/l
24	6.65	4.98			

(ii)本もろみ (3本仕込の場合)

仕込配合	主原料	タイ産糖みつ (糖度53.50%)	
	Na 1	タンク	19,453kg
	Na 2	タンク	19,348kg
	Na 3	タンク	19,289kg
	助成料	各タンク	60kg
	温水量 (60℃)	各タンク	17k/l
	汲水量	各タンク	32.1k/l
	殺菌	各タンク	無殺菌
	仕込容量	各タンク	63.0k/l
	酒母添加量		3.0k/l

タンク No.	酸度	PH	全糖	ブリックス
Na 1	3.40	5.10	16.52	23.5
Na 2	3.35	5.13	16.43	23.4
Na 3	3.31	5.15	16.38	23.4

(iii)添もろみ (3本仕込の場合)

仕込配合	主原料	タイ産糖みつ (糖度53.50%)	
			75,329kg
	温水量 (60℃)		22.0k/l
	汲水量		20.2k/l
	殺菌		無殺菌
	仕込容量 (各タンク32k/l添掛)		96k/l
	全糖		41.98%
	ブリックス		51.9
	添掛開始時間	酒母添加後20時間	
	添掛時間		22~24時間

熟成もろみ

経過時間	酸度	PH	アルコール分	備考
24	8.40	4.77	8.3	熟成もろみ容量 97.5k/l
44	10.70	4.90	10.8	熟成もろみアルコール
68	10.25	5.01	12.0	生成量 12,870 l
92	10.55	5.07	13.0	発酵歩合 82.26%
116	10.00	5.04	13.2	発酵時間 116時間
140	10.75	5.08	13.2	

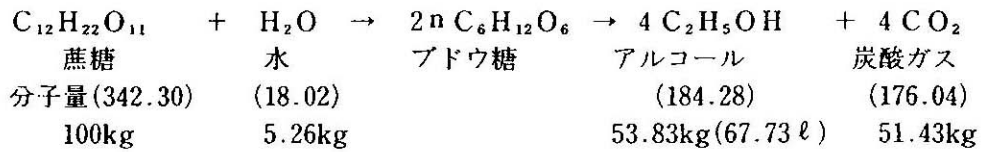
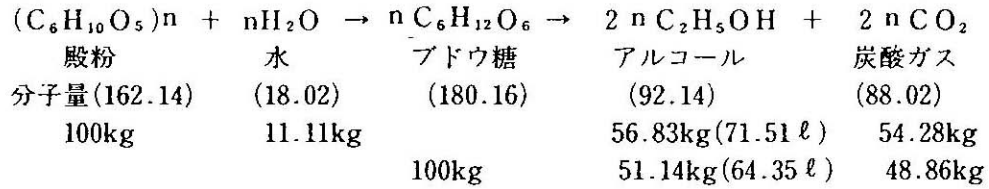
III-2-(8) 亜硫酸パルプ廃液を原料とする仕込配合 (酵母 Reuse 連続発酵法) 例

仕込配合 (1時間当り追加量)

主原料	亜硫酸パルプ廃液		48k/l/h
助成量	硫安		5.5kg/h
	過リン酸石灰		4.4kg/h
	米ぬか		2.7kg/h
サイクルタイム	18h	発酵歩合	85%
酵母乳りサイクル量	5 k/l/h	製成歩合	81%
パルプ廃液発酵性糖分	2.0%		
熟成もろみアルコール分	1.1%		

III-5 アルコールの取得量

III-5-(1) 理論上のアルコール生成量



	1,000kg 当りアルコール生成量(ℓ)	アルコール 1 kl 当り所要量(kg)
澱粉((C ₆ H ₁₀ O ₅) _n)	715.1	1,398.4
蔗糖C ₁₂ H ₂₂ O ₁₁	677.3	1,476.5
ブドウ糖C ₆ H ₁₂ O ₆	643.5	1,554.0
エチレンC ₂ H ₄	2,066.4	483.9

IV アルコールに関する諸表および規格

IV-1 アルコールの化学的性質

(1) 名称, 化学式および分子量

化学名 エタノール (Ethanol) メチルカービノール (Methylcarbinol)

一般名 エチルアルコール (Ethylalcohol) アルコール (Alcohol)

酒 精 (Spirit of wine)

化学式 C_2H_5OH 分子量 46.07

(2) 化学的性質

エチルアルコールは水酸基一つをもった飽和一価アルコールである。

水とは任意の割合で混ざり, 混合の際体積の収縮と発熱を伴う。

アルコール類, エーテルその他の有機溶剤にきわめてよく混和する。

多くの金属塩, 水酸化アルカリ, 炭化水素, 脂肪酸その他の有機化合物を溶解し, また種々の気体を溶解させることが水よりも大である。

ナトリウム, カリウムはエトキシドを生成してエチルアルコール (以下アルコールと略) に溶解する。

硫酸の作用により酸性硫酸エチルを生じ, 加熱すれば条件によってエチレンまたはジエチルエーテルを生ずる。また無水硫酸の作用により硫酸カルビルを生ずる。

三ハロゲン化りん PX_3 の作用によってハロゲン化エチル C_2H_5X を生ずる。

クロム酸, 過マンガン酸カリウムの硫酸溶液による酸化あるいは白金黒の接触酸化によってアセトアルデヒドおよび酢酸を生成する。

塩素および臭素によって酸化されてアセトアルデヒドになり, 過剰のアルコールの存在によってアセタールとなる。さらに塩素化がすすめばモノおよびジクロルアセタールになり, 最後にクロルアルコラート $CCl_3CH(OC_2H_5)_2$ となる。

水銀と過剰の硝酸を作用させると雷酸水銀 $(CNO)_2Hg$ を生ずる。

800°C で熱分解するとエチレンと水またはアセトアルデヒドと水素になる。

IV-2 アルコールの物理的性質

外 観	無色透明の液体
におい	特有の芳香
味	やけるような味
比重	$(d_4^{15})0.79360$ $(d_4^{20})0.78934$
沸点	78.325°C (760mmHg)
融点	-114.15°C
屈折率	$(n_D^{20})1.3614$ $(n_D^{25})1.35941$
臨界温度	243.1°C
臨界圧力	62.96atm
臨界密度	0.276g/cm ³
引火点	14.0°C (密閉) 16.0°C (開放)

発火点 390~430°C
 爆発限界 下限3.3vol% 上限19.0vol% (空气中)
 蒸気圧 12mmHg (0°C) 44mmHg (20°C) 351mmHg (60°C)
 燃焼熱 326.66Kcal/mol
 蒸発熱 10.337 " (20°C)
 9.304 " (bp)
 溶解熱 -2.67 " (水200mol 18°C)
 体膨張率 0.001101/K (0~30°C) K:絶対温度
 断熱圧縮率 $9.41 \times 10^{-5}/\text{atm}$ (20°C, 1 atm) $1.01 \times 10^{-4}/\text{atm}$ (30°C, 1 atm)
 表面張力 $24.05 - 0.0832t$ dyn/cm t:摂氏温度
 標準生成エンタルピー 66.2kcal/mol
 標準生成 Gibbs エネルギー 41.6kcal/mol

IV-3 アルコールの諸物性値表

IV-3-(1) 比重

(i) エタノールの比重

度数 (15°C)	比 重 15°C/15°C	wt. % (15°C)	水分 vol.% (15°C)	度数 (15°C)	比 重 15°C/15°C	wt. % (15°C)	水分 vol.% (15°C)
0	1.0000	0.00	100.00				
1.0	0.9985	0.80	99.05	25.0	0.9711	20.46	77.24
2.0	0.9970	1.59	98.11	26.0	0.9700	21.30	76.34
3.0	0.9956	2.39	97.18	27.0	0.9690	22.14	75.44
4.0	0.9942	3.20	96.24	28.0	0.9679	22.99	74.54
5.0	0.9929	4.00	95.32	29.0	0.9668	23.84	73.63
6.0	0.9916	4.81	94.89	30.0	0.9657	24.69	72.73
7.0	0.990	5.62	93.46	31.0	0.9645	25.54	71.82
8.0	0.9891	6.43	92.55	32.0	0.9633	26.40	70.90
9.0	0.9878	7.24	91.63	33.0	0.9621	27.26	69.98
10.0	0.9867	8.05	90.73	34.0	0.9608	28.12	69.06
11.0	0.9855	8.87	89.81	35.0	0.9597	28.99	68.13
12.0	0.9844	9.69	88.90	36.0	0.9581	29.86	67.20
13.0	0.9833	10.51	88.00	37.0	0.9567	30.73	66.27
14.0	0.9822	11.33	87.09	38.0	0.9553	31.61	65.33
15.0	0.9812	12.15	86.20	39.0	0.9538	32.49	64.39
16.0	0.9802	12.97	85.31	40.0	0.9523	33.38	63.44
17.0	0.9792	13.80	84.41	41.0	0.9507	34.27	62.49
18.0	0.9782	14.62	83.52	42.0	0.9491	35.17	61.53
19.0	0.9773	15.45	82.63	43.0	0.9474	36.07	60.57
20.0	0.9763	16.28	81.74	44.0	0.9457	36.97	59.61
21.0	0.9753	17.11	80.84	45.0	0.9440	37.88	58.64
22.0	0.9742	17.95	79.93	46.0	0.9422	38.80	57.66
23.0	0.9732	18.78	79.04	47.0	0.9404	39.72	56.69
24.0	0.9721	19.62	78.14	48.0	0.9386	40.64	55.72

度数 (15°C)	比 重 15°C/15°C	wt. % (15°C)	水分 vol.% (15°C)	度数 (15°C)	比 重 15°C/15°C	wt. % (15°C)	水分 vol.% (15°C)
49.0	0.9367	41.57	54.73	75.0	0.8779	67.89	28.19
50.0	0.9341	42.58	53.74	76.0	0.8753	69.00	27.13
51.0	0.9329	43.45	52.76	77.0	0.8726	70.13	26.06
52.0	0.9309	44.39	51.77	78.0	0.8699	71.26	25.00
53.0	0.9289	45.34	50.77	79.0	0.8672	72.40	23.93
54.0	0.9269	46.30	49.77	80.0	0.8645	73.54	22.87
55.0	0.9248	47.26	48.77	81.0	0.8617	74.70	21.79
56.0	0.9227	48.23	47.77	82.0	0.8589	75.87	20.73
57.0	0.9206	49.20	46.77	83.0	0.8560	77.06	19.65
58.0	0.9185	50.18	45.76	84.0	0.8531	78.25	18.56
59.0	0.9163	51.17	44.74	85.0	0.8502	79.45	17.47
60.0	0.9141	52.16	43.73	86.0	0.8472	80.67	16.38
61.0	0.9119	53.16	42.71	87.0	0.8442	81.90	15.29
62.0	0.9096	54.17	41.69	88.0	0.8411	83.15	14.18
63.0	0.9073	55.18	40.67	89.0	0.8379	84.42	13.06
64.0	0.9050	56.20	39.64	90.0	0.8346	85.70	11.94
65.0	0.9027	57.22	38.62	91.0	0.8312	87.00	10.81
66.0	0.9004	58.25	37.59	92.0	0.8278	88.32	9.67
67.0	0.8980	59.29	36.56	93.0	0.8242	89.67	8.51
68.0	0.8956	60.34	35.52	94.0	0.8206	91.04	7.36
69.0	0.8932	61.39	34.49	95.0	0.8168	92.44	6.18
70.0	0.8907	62.46	33.44	96.0	0.8128	93.87	4.99
71.0	0.8882	63.53	32.39	97.0	0.8086	95.34	3.78
72.0	0.8857	64.60	31.35	98.0	0.8042	96.85	2.54
73.0	0.8831	65.69	30.30	99.0	0.7996	98.40	1.29
74.0	0.8805	66.79	29.24	100.0	0.7947	100.00	0.00

備考)

アルコールの容量%と比重 (15°/15°C) および重量%,
水分との関係 (Gay Lussac による)

アルコールの比重 (15°/15°C) に水の重量%を掛けると、水分の容量%が得られる。
たとえば、10%のアルコールに含まれる水分は

$$0.9867 \times (100 - 8.05) = 90.73$$

この水分の容量%によって、アルコールを希釈する場合の加水量が求められる。

例 95%のアルコールを20%に希釈する場合

希釈後の量は度数に反比例するので

$$95\% \text{ 1 kl は, } 20\% \text{ にして } \frac{95}{20} \text{ kl} = 4.75 \text{ kl と なる。}$$

本表から95%の水分は6.18%であるから1 kl 中に0.0618kl の水分が含まれて
いる。

生成した20%アルコールに含まれる水分は、本表から81.74%であるから、
 $4.75 \text{ kl} \times 0.8174 = 3.88265 \text{ kl}$ の水分が含まれる。

したがって加水量は

$$3.88265 \text{ kl} - 0.0618 \text{ kl} = 3.82085 \text{ kl と なる。}$$

濃 度 (wt%)	温 度/℃								
	0	10	20	30	40	50	60	70	80
39	7.25	4.39	2.88	2.00	1.473	1.124	0.885	0.725	0.598
40	7.14	4.39	2.91	2.02	1.482	1.132	0.893	0.727	0.601
45	6.94	4.35	2.88	2.02	1.495	1.148	0.907	0.740	0.609
50	6.58	4.18	2.87	2.02	1.499	1.155	0.913	0.740	0.612
60	5.75	3.77	2.67	1.93	1.447	1.127	0.902	0.729	0.604
70	4.762	3.268	2.370	1.767	1.344	1.062	0.856	0.695	—
80	3.690	2.710	2.008	1.531	1.203	0.968	0.789	0.650	—
90	2.732	2.101	1.610	1.279	1.035	0.848	0.704	0.589	—
100	1.773	1.466	1.200	1.003	0.834	0.702	0.592	0.504	—

注) 1 cP (センチポアズ) = $10^{-2} \text{dyn} \cdot \text{scm}^{-2} = 10^{-2} \text{gcm}^{-1} \text{s}^{-1} = 10^{-3} \text{Nsm}^{-2}$

1 cP = 10^{-2}p (ポアズ) = 10^{-3}Pas (パスカル秒) = 1 mPas

[文献] 日本化学会編 化学便覧 改訂3版 (丸善)

IV-3-(3) 気液平衡

VI-3-(3)-(i) アルコール・水混合系の諸性質表

液			沸点 ℃/気圧	比熱23℃ cal / g	比 重 15' / 15'	平 均 分子量	潜 熱 cal / g	比重×潜熱 Kcal / ℓ	蒸 気		
vol %	wt %	mol %							vol %	wt %	mol %
1	0.8	0.3	99.0	1.000	0.999	18.11	530	529	9.4	7.6	3.1
2	1.6	0.6	98.2	1.002	0.997	18.20	527	522	18.6	15.1	6.5
3	2.4	1.0	97.4	1.004	0.996	18.29	525	518	27.3	22.4	10.1
4	3.2	1.3	96.6	1.006	0.994	18.38	521	514	34.3	28.4	13.4
5	4.0	1.6	95.9	1.008	0.993	18.47	515	511	40.0	33.4	16.4
6	4.8	1.9	95.2	1.010	0.992	18.56	513	508	44.2	37.1	18.8
7	5.6	2.3	94.5	1.012	0.990	18.65	510	503	47.3	40.0	20.7
8	6.4	2.6	93.9	1.013	0.989	18.75	506	499	50.3	42.8	22.6
9	7.2	2.9	93.3	1.015	0.988	18.84	503	494	51.9	44.3	23.7
10	8.1	3.3	92.6	1.016	0.987	18.95	501	489	55.5	47.7	26.3
11	8.9	3.7	92.1	1.018	0.985	19.05	497	485	57.3	49.5	27.8
12	9.7	4.0	91.5	1.019	0.984	19.15	494	481	59.1	51.3	29.2
13	10.5	4.4	91.1	1.021	0.983	19.25	492	477	60.7	52.8	30.4
14	11.3	4.7	90.6	1.022	0.982	19.35	490	474	61.9	54.0	31.5
15	12.1	5.1	90.2	1.024	0.981	19.45	485	471	63.0	55.2	32.5
16	13.0	5.5	89.7	1.025	0.980	19.57	482	467	64.3	56.5	33.7
17	13.8	5.9	89.3	1.027	0.979	19.67	478	464	65.5	57.7	34.8
18	14.6	6.2	89.0	1.028	0.978	19.80	475	460	66.7	58.9	35.9
19	15.4	6.6	88.6	1.029	0.977	19.88	472	457	67.6	59.9	36.9
20	16.3	7.1	88.3	1.030	0.976	20.00	468	453	68.5	60.9	37.9
21	17.1	7.5	87.9	1.030	0.975	20.11	465	450	69.3	61.7	38.7
22	17.9	7.9	87.7	1.031	0.974	20.22	462	447	70.1	62.6	39.6
23	18.8	8.3	87.4	1.031	0.973	20.35	459	443	71.0	63.5	40.5
24	19.6	8.7	87.1	1.032	0.972	20.46	456	440	71.9	64.4	41.4
25	20.4	9.1	86.9	1.032	0.971	20.57	452	436	72.5	65.6	42.2
26	21.3	9.6	86.6	1.030	0.970	20.70	448	432	73.1	65.8	43.0
27	22.1	10.0	86.4	1.029	0.969	20.82	446	429	73.7	66.4	43.6

液			沸点 °C/气压	比热23°C cal / g	比重 15°/ 15°	平均 分子量	潜 热 cal / g	比重×潜热 Kcal / ℓ	蒸 气		
vol %	wt %	mol %							vol %	wt %	mol %
28	23.0	10.5	86.2	1.028	0.968	20.95	442	427	74.3	67.1	44.4
29	23.8	10.9	86.0	1.027	0.967	21.07	439	423	74.7	67.6	44.9
30	24.7	11.4	85.7	1.026	0.966	21.21	436	418	75.4	68.3	45.7
31	25.5	11.8	85.5	1.024	0.964	21.33	432	414	75.9	68.9	46.4
32	26.4	12.3	85.4	1.021	0.963	21.47	429	410	76.4	69.4	47.0
33	27.3	12.8	85.1	1.020	0.962	21.61	426	407	76.8	69.9	47.6
34	28.1	13.3	85.0	1.017	0.961	21.74	423	403	77.2	70.3	48.1
35	29.0	13.8	84.8	1.015	0.959	21.88	420	399	77.6	70.8	48.7
36	29.9	14.3	84.7	1.012	0.958	22.03	416	397	78.1	71.3	49.3
37	30.7	14.8	84.5	1.010	0.957	22.16	413	393	78.4	71.7	49.8
38	31.6	15.3	84.4	1.006	0.955	22.31	409	385	78.7	72.0	50.2
39	32.5	15.9	84.2	1.003	0.954	22.46	407	381	79.0	72.4	50.7
40	33.4	16.4	84.1	1.000	0.952	22.62	403	379	79.3	72.7	51.0
41	34.3	17.0	83.9	0.996	0.951	22.78	400	376	79.6	73.0	51.4
42	35.2	17.5	83.8	0.993	0.949	22.93	398	372	79.9	73.4	51.9
43	36.0	18.0	83.7	0.990	0.947	23.08	395	369	80.1	73.6	52.2
44	37.0	18.7	83.5	0.985	0.946	23.26	391	365	80.3	73.9	52.6
45	37.9	19.3	83.4	0.982	0.944	23.42	388	362	80.5	74.1	52.8
46	38.8	19.9	83.3	0.978	0.942	23.50	385	358	80.7	74.4	53.2
47	39.7	20.5	83.1	0.974	0.940	23.76	380	354	80.9	74.6	53.5
48	40.6	21.1	83.0	0.970	0.938	23.94	378	350	81.1	74.8	53.7
49	41.6	21.8	82.9	0.965	0.937	24.13	375	347	81.3	75.1	54.1
50	42.5	22.4	82.8	0.960	0.935	24.31	371	342	81.5	75.3	54.4
51	43.4	23.1	82.7	0.955	0.933	24.49	368	339	81.7	75.5	54.7
52	44.4	23.8	82.6	0.950	0.931	24.70	365	339	81.9	75.8	55.1
53	45.3	24.5	82.5	0.945	0.929	24.88	361	335	82.1	76.0	55.3
54	46.3	25.2	82.4	0.940	0.927	25.09	357	331	82.3	76.2	55.6
55	47.2	25.9	82.3	0.934	0.925	25.29	354	328	82.5	76.4	55.9
56	48.3	26.7	82.1	0.928	0.923	25.53	352	324	82.7	76.7	56.3
57	49.2	27.5	82.0	0.922	0.920	25.73	349	321	82.9	76.9	56.6
58	50.2	28.3	81.9	0.917	0.918	25.95	345	318	83.1	77.1	56.9
59	51.2	29.1	81.8	0.911	0.916	26.19	342	312	83.3	77.4	57.3
60	52.1	29.9	81.7	0.905	0.914	26.39	338	309	83.5	77.6	57.5
61	53.1	30.7	81.6	0.900	0.912	26.63	335	305	83.6	77.8	57.8
62	54.1	31.6	81.5	0.894	0.909	26.87	332	301	83.8	78.0	58.1
63	55.2	32.5	81.4	0.887	0.907	27.14	328	298	84.0	78.2	58.4
64	56.2	33.4	81.3	0.881	0.905	27.40	325	294	84.2	78.5	58.8
65	57.2	34.3	81.2	0.875	0.902	27.65	322	290	84.4	78.7	59.1
66	58.2	35.3	81.2	0.868	0.900	27.91	319	287	84.6	79.0	59.5
67	59.3	36.3	81.1	0.861	0.898	28.20	316	284	84.8	79.2	59.8
68	60.3	37.3	81.0	0.854	0.895	28.47	313	280	85.1	79.5	60.3
69	61.4	38.4	80.9	0.848	0.893	28.78	309	276	85.3	79.8	60.7
70	62.5	39.5	80.8	0.842	0.890	29.09	306	270	85.5	80.1	61.2
71	63.5	40.5	80.7	0.836	0.888	29.38	303	269	85.7	80.3	61.5
72	64.6	41.7	80.6	0.829	0.885	29.72	300	265	86.0	80.6	61.9
73	65.7	42.8	80.5	0.822	0.883	30.04	296	261	86.2	80.9	62.4
74	66.7	43.9	80.5	0.817	0.880	30.34	293	259	86.4	81.2	62.8
75	67.8	45.2	80.4	0.808	0.878	30.69	290	255	86.7	81.5	63.3
76	69.0	46.6	80.3	0.800	0.875	31.08	286	250	87.0	81.9	63.9
77	70.1	47.9	80.2	0.794	0.872	31.44	283	247	87.3	82.2	64.4

液			沸 点 °C/気圧	比熱23°C cal / g	比 重 15°/ 15°	平 均 分子量	潜 熱 cal / g	比重×潜熱 Kcal / ℓ	蒸 気		
vol %	wt %	mol %							vol %	wt %	mol %
78	71.2	49.2	80.1	0.787	0.870	31.81	280	244	87.6	82.6	65.0
79	72.4	50.7	80.0	0.779	0.867	32.23	277	240	87.9	83.0	65.6
80	73.5	52.0	79.9	0.773	0.864	32.87	274	237	88.2	83.4	66.3
81	74.7	53.7	79.8	0.764	0.861	33.06	270	232	88.5	83.8	66.9
82	75.8	55.1	79.7	0.757	0.859	33.47	267	229	88.8	84.2	67.6
83	77.1	56.9	79.7	0.747	0.856	33.97	264	226	89.3	84.7	68.4
84	78.2	58.4	79.6	0.739	0.853	34.40	260	222	89.6	85.2	69.3
85	79.4	60.1	79.5	0.731	0.850	34.89	257	218	90.0	85.7	70.1
86	80.6	61.9	79.4	0.722	0.847	35.39	254	215	90.4	86.2	71.0
87	81.9	63.9	79.3	0.715	0.844	35.95	251	212	90.9	86.8	72.0
88	83.1	65.8	79.2	0.707	0.841	36.48	247	208	91.4	87.4	73.1
89	84.4	67.9	79.2	0.699	0.838	37.07	245	205	91.8	88.0	74.2
90	85.7	70.1	79.1	0.690	0.834	37.69	241	201	92.3	88.7	75.4
91	87.0	72.4	79.1	0.681	0.831	38.22	238	198	92.5	89.5	76.9
92	88.3	74.7	78.7	0.673	0.828	38.98	235	195	93.3	90.3	78.5
93	89.6	77.1	78.5	0.662	0.824	39.66	231	190	94.1	91.1	80.0
94	91.0	79.8	78.4	0.652	0.820	40.42	228	187	94.7	92.0	81.8
95	92.4	82.6	78.3	0.642	0.817	41.21	225	184	95.4	93.0	83.9
96	93.9	85.8	78.2	0.630	0.813	42.08	221	180	96.1	94.1	86.2
97	95.3	88.8	78.2	0.619	0.808	42.94	218	176	97.0	95.3	88.8
98	96.8	92.2	78.3	0.606	0.805	43.90	215	173	98.0	96.8	92.2
99	98.4	96.0	78.3	0.593	0.799	44.96	211	169	99.0	98.4	96.0
			分子式	分子量	比重15°/15°	沸点(1気圧)°C	比熱23°Ccal/g				
水			H ₂ O	18.02	0.999	100.0	0.998				
エチルアルコール			C ₂ H ₅ OH	46.07	0.794	78.3	0.577				

〔文献〕 酒精及無水酒精（黒野勘六）

IV-3-(3)-(ii) 気液平衡

(A) 二成分・三成分系気液平衡

本項では、エチルアルコール-水系を含む数例の気液平衡データを記載する。その他の系については、参考文献等を参照されたい。

最近では、電子計算機を使用した蒸留計算が一般的で、この場合、パラメータを用いた各種数式モデルにより活動度係数（活量係数） γ を表示することが多い。

系の全圧があまり高くない場合は気液平衡関係はほぼ次式に従う。

$$Y_i = \gamma_i \cdot \frac{P_i^0}{\pi} \cdot X_i$$

π : 系の全圧 mmHg 常圧の場合760

P_i^0 : 純*i*成分の蒸気圧 mmHg

この関係から、任意の液相組成に平衡な気相の組成及び平衡温度を計算により求めることができる。

本項では、X-Y-T表示の他に、MARGULES, VAN LAAR, WILSON, NRTL, UNIQUACの5種の数式モデルについて各パラメーターを併記してある。

これらの内、MARGULES, VAN LAAR両式は古典的なもので、実験データを精度よく表示できる系はあまり多くなく、今では1960年代以降発表された、WILSON,

V-1-(3) 糖みつの分析法

分析項目	供試量	分析装置、器具および試薬	分 析 法	表示法
比重	50ml	比重びん ピクノメーター 容量50ml 標準温度計 恒温水槽	<p>洗浄乾燥した容量50mlの比重びん(ピクノメーター)に試料をみだし、15℃の恒温浴中に30分間浸したのちじゅうぶん外部の水分を拭い取り、15℃の時の重量を秤量する。同様に蒸留水をみだして重量を秤量すれば15℃における試料の比重はつぎの式から求められる。</p> $\text{試料の比重} = \frac{(\text{比重びん} + \text{試料}) - \text{比重びん}}{(\text{比重びん} + \text{蒸留水}) - \text{比重びん}}$ <p>注意 比重びんはクロム硫酸混液でよく洗って乾燥したのち秤量する。</p>	15℃における比重の読み
ブリックス度	150g	ブリックス計 標準温度計 恒温水槽	<p>試料150gに蒸留水150gを加えて希釈する(液が均一になるようじゅうぶん混和する)。ブリックス計によりその示度および温度を測定し、別表(V-1-(10))により温度による補正を行なったのち、これを2倍にしてブリックス度とする。</p>	ブリックス度(20℃)
直接還元糖	10g	メスフラスコ(容量1ℓ) ビュレット(容量50ml/0.1ml目盛) レーン法糖分定量試薬、器具	<p>試料10gを秤量し、蒸留水で1ℓに希釈し、その液をレーン法により転化糖量を測定し、換算する。(レーン糖定量法V-1-(5)および別表V-1-(8)参照)</p>	転化糖としてwt%
全糖分	10g	メスフラスコ(容量500mlと250ml) 丸底フラスコ(300ml) 冷却管(1m以上のガラス管にゴム管をつけたもの) 1%塩酸溶液 5%水酸化ナトリウム溶液 湯浴 レーン法糖分定量試薬、器具	<p>試料10gを秤量し、これに蒸留水を加えて500mlに希釈し、その50mlを300ml丸底フラスコにとり、1%塩酸10ml及び蒸留水40mlを加え(pH2.2以下にすることが必要)、1m以上のガラス管を付けたゴムせんをして、沸騰湯浴中で30分間加熱し、冷却後5%水酸化ナトリウム溶液で微酸性まで中和し、これを250mlメスフラスコにみだし、レーン法により定量して、転化糖として表す。(レーン糖定量法V-1-(5)および別表V-1-(8)参照)</p>	転化糖としてwt%
しょ糖	-	-	<p>上記全糖分から直接還元糖を差し引きこの値に0.95を乗じてしょ糖量とする。</p>	wt%
酸度	10g	メスフラスコ(容量100ml) メスピペット(容量20ml) ビュレット(容量50ml/0.1目盛) オートタイトレーター(またはpHメーター、マグネチックスターラー) N/10水酸化ナトリウム	<p>試料10gを秤量し、蒸留水を加えて100mlにみだし、その20mlを200mlビーカーにとりオートタイトレーターにかけN/10水酸化ナトリウム溶液で滴定する。</p> <p>オートタイトレーターがない場合は、調製溶液20ml中にPHメーターの電極を浸しマグネチックスターラーをかけながらN/10水酸化ナトリウム溶液で滴定する。PH7.0をもって滴定の終点とし、その滴定ml数を酸度として表わす。</p> <p>PHメーターがない場合はフェノールフタレインを指示薬として滴定し、終点が不明の場合はリトマス試験紙により検定する。</p>	糖みつ20gに対する1N NaOH液の滴定数
水素イオン濃度(pH)	10gまたはpHメーターでの測定に必要な量	pHメーター pH試験紙 1N塩化カリウム溶液	<p>ガラス電極またはアンチモン電極を試料に浸して2分間以上放置して平衡に達したときpHメーターの示度を読みその値を表わす。</p> <p>ガラス電極を試料に浸すことが困難である場合は試料10gに対し蒸留水あるいは1N塩化カリウム溶液20mlで希釈し、かきまぜるか振とうして30分間以上放置する。この場合の懸濁液の温度は15~20℃に保つようにする。測定前に軽くかきまぜたのち、懸濁液を測定容器に入れる。測定したpH値には必ず蒸留水または1N塩化カリウム溶液で希釈したことを記載する。pHメーターがない場合はpH試験紙を使用する。</p>	pH値

分析項目	供試量	分析装置, 器具および試薬	分 析 法	表示法
総固形分	3g	蒸発皿 (容量30ml) 空気浴 けい砂またはガラス砂 デシケーター 塩酸 アルコール	あらかじめ塩酸で洗浄した細かいけい砂またはガラス砂約10gをかく拌棒を置いた浅い蒸発皿に秤取し, これを150℃の空気浴中で1時間乾燥したのちデシケーター中で冷却し秤量する。これに試料約3gを正確に秤取し, 約1mlの温蒸留水を加えてよく混合し105℃で5時間乾燥し冷却したのち秤量する。試料の乾燥を早くするために約2時間を経て数滴のアルコールを加えてよく混合したのち乾燥するとよい。	wt%
灰分	2~3g	ガスバーナー デシケーター 磁製のつば (容量10~20ml) 硝酸	試料2~3gをあらかじめしゃく熱したのち冷却し秤量した磁製のつばに正確に秤取し, 静かに加熱し, つぎに暗赤色になるように加熱して灰化し, いったん冷却しこれに数滴の硝酸を滴下してまた静かに加熱し徐々に強熱ししゃく熱する。これをデシケーター中で放冷したのち秤量する。	wt%
全窒素	1g	甘しょ等分析法 全窒素の項参照	試料約1gを正確に秤取し, 蒸留水でケルダール分解びんに洗い込み, 甘しょなどの全窒素分析法に従って定量を行なう。	wt%
発酵性糖分	10g	メスフラスコ (容量100ml, 250ml) フラスコ (200, 300ml容) 1%塩酸溶液 5%水酸化ナトリウム溶液 パン酵母 ソモギー変法糖分定量試薬, 器具	試料10gを秤量し, これを蒸留水で100mlに希釈し, その50mlを300ml容フラスコにとり, 1%塩酸20mlおよび蒸留水30mlを加え(pH2.2以下にすることが必要) 1m以上のガラス管を付けたゴムせんをして, 沸騰温浴中で30分間加熱し, 冷却後5%水酸化ナトリウム溶液でpH5.0まで中和する。中和後200mlに充たしてろ過し, ろ液を200mlフラスコに100mlとり, 水洗したパン酵母(市販品を数回水で洗浄する)を3~4g添加して分散させ, 直ちに全糖分をソモギー変法(V-1-(7))によりグルコースとして定量した後, 30℃で約40時間発酵させ, 発酵終了後残糖分を同様に定量する。そして全糖分を原料に対する%で表わしたものから, 残糖分を原料に対する%で表わしたものを差引き発酵性糖分とする。	原料に対する%
硫酸イオン	10ml	大型試験管または三角フラスコ 遠心分離機または漏斗 電気炉 るつば 濃塩酸(化学用特級) または1級) 10%塩化バリウム溶液	試料, 濃塩酸, 蒸留水おのおの10mlを大型試験管または三角フラスコにとり1時間沸騰湯浴中で加熱する。冷却後この液を遠心分離(またはろ過)して固形物を除き, 分離液を200ml三角フラスコにとる。分離した固形物はさらに温水で数回洗浄し, この洗浄水を合して全量を100~150mlとする。この液をヒーター上で軽く沸騰させながら温塩化バリウム溶液(10%)を滴下し, もはや白色の沈澱が生じなくなつてからさらにその20~50%を過剰に加える。約10分加熱後冷却し, 3~4時間放置後生じた白色沈澱(BaSO ₄)を遠心分離して分離液は捨て沈澱を数回蒸留水で洗浄後遠心管に蒸留水を加え器壁についた沈澱をポリスマンできれいにおとす。沈澱懸濁液はあらかじめしゃく熱秤量したるつばに移し, 乾燥器で蒸発乾固後電気炉で600℃1時間加熱, デシケーター中で放冷したのち秤量する。 硫酸バリウムの量mg(a)から次式によって硫酸イオンのppmを算出する。 $S = a \times 41$	ppm

CLEAN DEVELOPMENT MECHANISM
SIMPLIFIED PROJECT DESIGN DOCUMENT
FOR SMALL SCALE PROJECT ACTIVITIES (SSC-PDD)
VERSION 01 (21 JANUARY, 2003)

Sugarcane Trash and Rice Husk Power Cogeneration Project in Thailand

March 2005



General Environmental Technos Co., Ltd.

CONTENTS

- A. General description of project activity
- B. Baseline methodology
- C. Duration of the project activity / Crediting period
- D. Monitoring methodology and plan
- E. Calculation of GHG emission reductions by sources
- F. Environmental impacts
- G. Stakeholders comments

Annexes

Annex 1: Information on participants in the project activity

Annex 2: Information regarding public funding

Appendices

Appendix A: Percentage of trash collected from sugarcane field

Appendix B: Amount of trash collected from sugarcane field by tractor

Appendix C: Daily amount of trash required as fuel for electricity generation

Appendix D: CO₂ emission in grid

Appendix E: Industrial Effluent Standards

A. General description of project activity

A.1 Title of the project activity:

Sugarcane Trash and Rice Husk Power Cogeneration Project in Thailand (The Project)

A.2 Description of the project activity:

The Project is designed to utilize for electricity generation biomass (sugarcane top and leaf [trash] and rice husk) that would otherwise be left to decay on the field. This effort will assist Thailand to achieve sustainable growth by providing electricity through biomass power production without relying on fossil fuel combustion, as well as improving the disposal by efficient use of major sources of agricultural waste.

It involves the construction and operation of a new biomass fuel power plant in Ratchaburi province, central Thailand, with approximately 9.64MW gross generating capacity, 8MW net. This state-of-the-art plant consisting of a boiler, turbine and generator will be built independently on the project site adjacent to the premises of Rajburi Sugar Co., Ltd. (RSC). In order to contribute to the local socio-economy, two major biomass resources available in large quantities in Thailand will be utilized by the Project: trash will be used during the sugar production period, while rice husk will be purchased on the market as an alternative to trash during the non-production period. Electricity will be sold through a 30-year power purchase agreement (PPA) with the Electricity Generating Authority of Thailand (EGAT).

Inviting alcohol manufacturing factories to the neighbouring area of the project plant is also planned to supply surplus thermal energy generated by means of a highly efficient cogeneration system, which leads additionally to the reduction of CO₂ emissions in the brewing process.

1. The government policy on CDM

The government of Thailand supports socially/economically sustainable development and encourages environmental protection and the use of natural resources in order to establish a recycling-oriented society. This is one of the basic strategy policies of the 9th national economic society development plan.

Thailand ratified the UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change) in 1994, signed the Kyoto Protocol in 1999 and ratified it in 2002. Under the Kyoto Protocol, Thailand is not subject to any commitments to reduce GHG emissions as a Non-Annex I country. However, upon receiving instructions to pursue environmental protection and GHG emission reductions, the Thailand Ministry of Natural Resources and Environment (MONRE) appointed the Office of Natural Resources and Environment Policy and Planning (ONEP) as the Designated National Authority (DNA) to fulfill the commitments required by the Kyoto Protocol and to implement all CDM related tasks. (See Fig.1 for the organizational structure of the DNA). The government is receptive to CDM projects and will approve those which have the potential to contribute to socially/economically sustainable development in Thailand. (See Fig.2 for the approval structure).

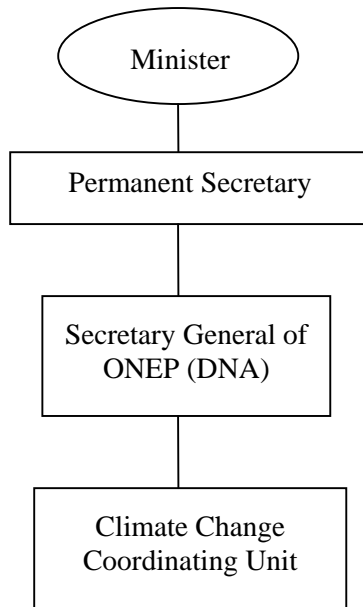


Figure 1. Organization of the DNA in Thailand

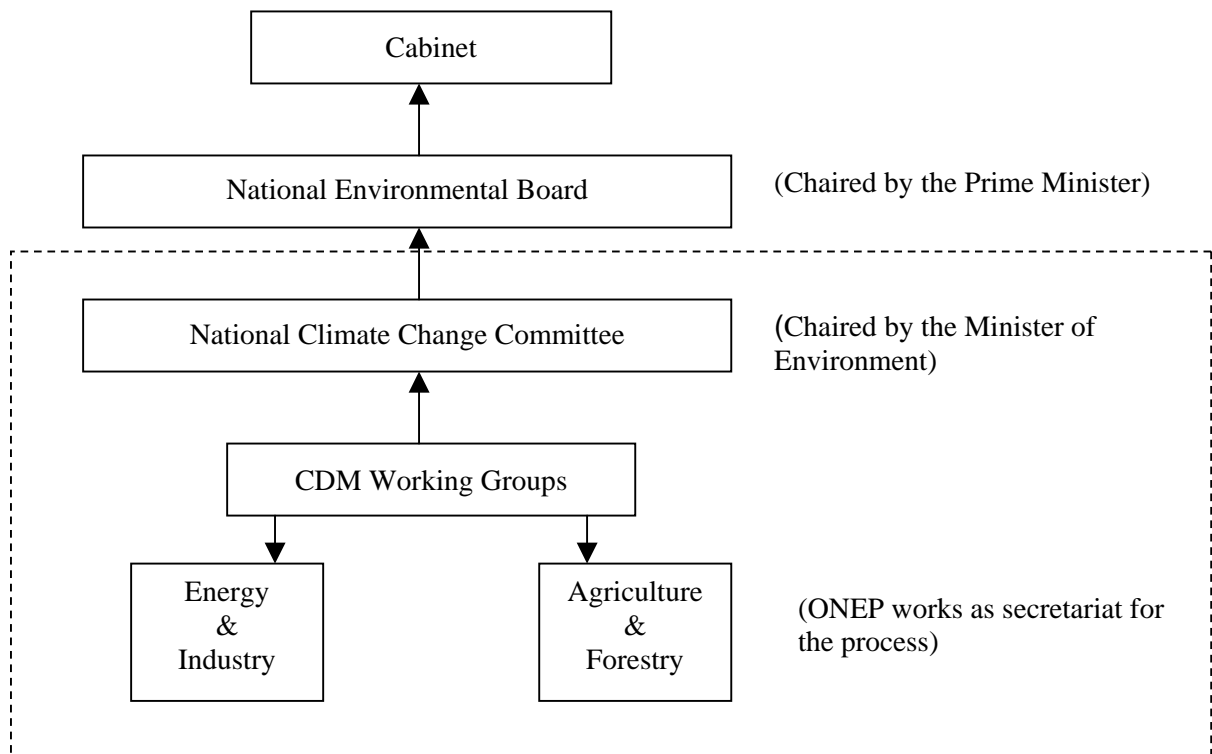


Figure 2. Government structure for the approval of CDM projects

The project types eligible for their approval are energy-related projects such as renewable energy and/or energy efficiency/industrial process improvement, transportation and afforestation/reforestation projects. Of these project types, the government sees the energy sector as the most feasible CDM option and so the energy field appears the most promising area in which to implement a CDM project in Thailand.

2. Contribution to the sustainable development of the host country:

According to the EGAT Power Development Plan (PDP) 2003, Thailand 's demand for electricity will increase from 108,389 GWh in 2002 to 147,835 GWh in 2007 with a general increase of about 5 to 6% per year, reaching 249,878GWh in 2016. In parallel, EGAT set a plan to enhance its total installed generation capacity from 25,377.8MW in 2003 to 45,417.6 MW in 2016. Against this backdrop, securing steady supply sources of electricity is a matter of vital importance for the Thai economy.

Sugarcane and rice have always been Thailand's flagship agricultural products, with crop production in 2003 of some 74 million tonnes and 27 million tonnes respectively. Consequently, trash and rice husk represent particularly rich biomass energy resources for Thailand. These renewable energy sources currently fuel less than 1% of Thailand's electricity generation, which is dominated by natural gas, lignite and imported fuel oil.

Recognising the potential contribution of renewable energy to the Thai energy mix, the government has placed great importance on supporting environmentally friendly, indigenous, and renewable sources of energy. According to the interview with EGAT, the government has entered into consideration to increase renewable energy supply to 4% of the nation's total electricity generation in the future.

By using biomass to displace fossil fuel in power generation, the Project will largely contribute to the development of renewable energy sources as a solution for Thailand's growing energy requirements. In addition, the Project will have an added contribution to the country's sustainable development, in that it will promote industrial modernization and local employment by adopting advanced Japanese technologies.

3. Facility design

The following prerequisites were taken into account when designing the project:

- The sugarcane yield of 863,200 t-c/year (t-c indicates deadweight tonnage of cane, rounded off to the nearest hundred t) represents the 5-year average of Rajburi contract farms (whose minimum and maximum yields are 755,400 t-c/year and 1,043,400 t-c/year, respectively).
- The Rajburi Sugar Factory can process 9,880 t-c/day. Thus, the production period of sugarcane is calculated as follows:
$$863,200 \text{ t-c/year} \div 9,880 \text{ t-c/day} = 87 \text{ days.}$$
- A new 9.64 MW power station fuelled with biomass is to be constructed on a site adjoining Rajburi.
- Considering the fact that water in the Rajburi area is hard water, the steam pressure and temperature specifications for the boiler are 33 bar G and 425°C.
- Electricity sales to EGAT are 8 MW during the daytime and 6 MW (75% of the daytime capacity) during the night (the actual connection to the grid line being done by the Provincial Electricity Authority – PEA). On Sundays and holidays, the amount to be sold is 6 MW.
- The major fuel for biomass power generation during the sugar production period is trash, with rice husks being purchased for use when sugarcane trash is not available.
- The proportion of trash collected from irrigated and non-irrigated sugarcane field is

approximately 50% and 30%¹, respectively, of the total yield in order to prevent soil degradation in the sugarcane field. Ash produced by trash burned in the new power station is to be returned to the field for use as fertilizer.

- Ash from rice husks burned in the new power station will be sold to ash traders and will be collected by them from the new power station.
- After the harvest, trash left on the field will be collected by specially equipped tractors. Seven sets of tractors and new equipment (twin rakes, balers and front loaders) will be purchased by SPC and rented to contract farmers. The collection capacity is estimated at 76.6 t/day².
- Trash left on the field will first be gathered by twin rakes attached to tractors. The trash will then be rolled by balers and loaded onto trucks by front loaders to be carried to the new power station.
- Water will come from the same ground water source used by the Rajburi Sugar Factory and effluent is to be discharged into the current factory drainage system.
- Retrofitting of equipment in the Rajburi Sugar Factory is not planned.
- In order to effectively utilize the heat produced, steam will be supplied to an alcohol plant (not included in the scope of the project).
- The alcohol plant produces ethyl alcohol from the molasses supplied by the Rajburi Sugar Factory. The amount of molasses produced at Rajburi is 4.3-4.8% that of cane (data from the fact-finding survey). The annual yield of molasses should therefore be 863,200 t-c/year × 4.3% = 37,100 t-m/year (t-m indicates the deadweight tonnage of molasses). The volume of steam supplied to the alcohol plant should be 7 t-s/h (t-s indicates the deadweight tonnage of steam) corresponding to the manufacturer's designed capacity.

Figure 3, below, shows a schematic diagram of the project system.

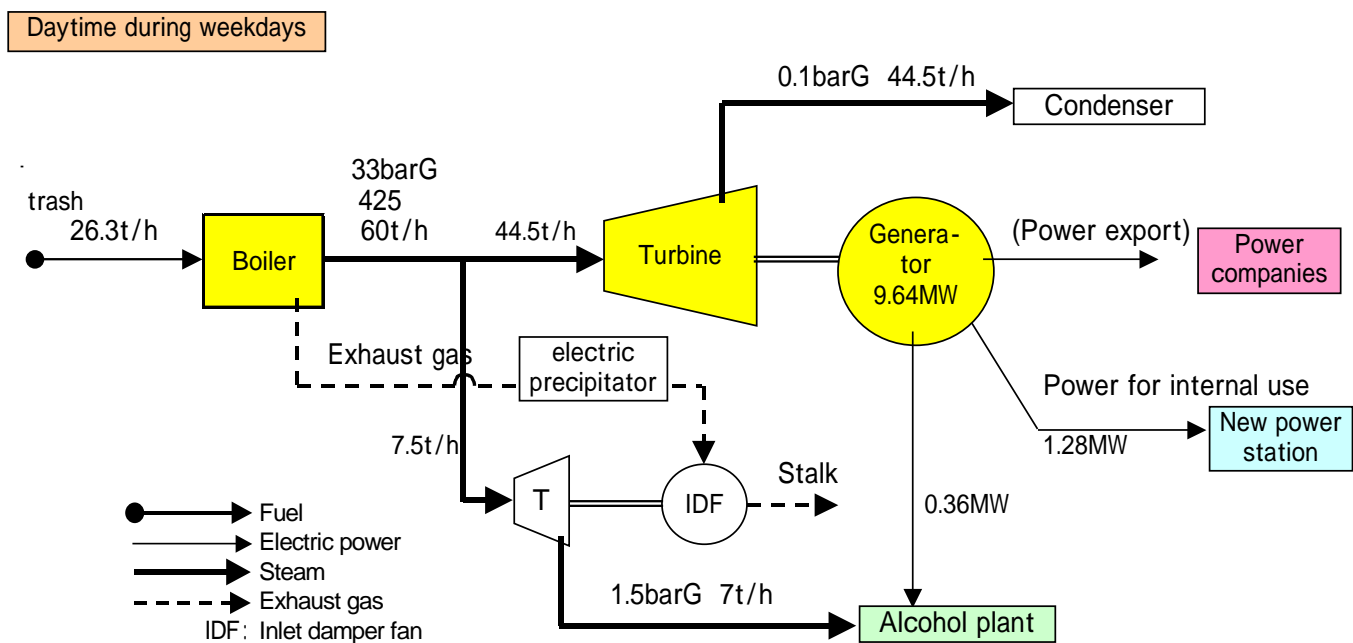


Figure 3. Schematic diagram of the operating system

¹ Refer to Appendix A for detailed calculations.

² Refer to Appendix B for detailed calculations.

4. Outline of the use of biomass as fuel:

1) Procurement and availability of trash

According to an interview conducted with the governor of Ratchaburi Province, 50-60% of sugarcane trash is currently burned before harvest in order to make the harvesting process easier. However, RSC educate their contract farmers not to burn trash. As a result, all of the trash on RSC contract farms (except for 10% accidentally burned due to flying sparks) is left on the ground to decay.

Furthermore, taking into consideration of the collectable ratio of trash from irrigated and non-irrigated land and the ratio of trash accidentally burned prior to the harvesting, the proportion of trash collectable from sugarcane field is estimated as follows:

$$(50\% \times 30\% + 30\% \times 70\%) \times 90\% = 32.4\%$$

The component ratio of trash to sugarcane is as follows:

Table 1. Proportions and dry weights of sugarcane components³

components	proportions (%)	dry weight (%)	adjusted proportions including moisture (%)	proportions to cane (%)
cane	69.5	29.5	235.6	100
top	8.2	36.7	22.3	9.5
leaf	22.2	91.0	24.4	10.4

Using the above data, the average moisture ratio of top and trash together is calculated as follows:

$$100\% - (8.2\% + 22.2\%) \div (8.2\% \div 36.7\% + 22.2\% \div 91\%) = 35.0\%$$

However, laboratory analysis showed that the moisture ratio of trash was actually 23.5%, which means that the moisture ratio decreases to approximately 23.5% after being dried when it rains a little. The calculated trash to sugarcane ratio therefore need to be modified as follows:

$$19.9\% \times (100\% - 35.0\%) \div (100\% - 23.5\%) = 16.9\%$$

As mentioned earlier, the total sugarcane yield is 863,200 t-c/year (the 5-year average on Rajburi contract farms).

Therefore, the expected amount of trash available from sugarcane is calculated as follows:

³ Source: 'Sugarcane Stalk as a Roughage for Dairy Cattle (2001)', Kawashima et al

$$\begin{aligned}
 &\text{Amount of trash available from sugarcane (t/y)} = \text{Average sugarcane yield from Rajburi contract farms (t/y)} \times \text{trash to sugarcane ratio (\%)} \times \text{proportion of trash collectable from sugar cane field (\%)} \\
 &= 863,200 \times 16.9\% \times 32.4\% \\
 &= 47,265 \text{ t/y}
 \end{aligned}$$

As described earlier, in A.2, that the collection capacity per tractor is 76.6 t/day, the expected annual amount of trash available as fuel for the Project is calculated as follows:

$$\begin{aligned}
 &\text{Amount of trash available for the Project (t/y)} = \text{collection capacity per tractor (t/day)} \times \text{production period of sugarcane (days/y)} \times \text{number of sets of tractor and equipments (sets)} \\
 &= 76.6 \times 87 \times 7 \\
 &= 46,600 \text{ t/y}
 \end{aligned}$$

Calculation of the daily amount of trash used for the Project is as summarized in the table below.

Table 2. Daily amount of trash required as fuel

Item		Value	Remarks
Weekday	Daytime		
	(1)	trash required as fuel	16.7 t/h
	(2)	hours	13.5 h/day
	(3)	total trash required as fuel during daytime	225 t/day
	Nighttime		
	(1)'	fuel required	14.9 t/h
	(2)'	hours	10.5 h/day

	(3)'	total fuel required during nighttime	156 t/day	(1)' × (2)'
		Trash required as fuel on weekdays	381 t/day	(3) + (3)'
Weekend	(1)''	trash required as fuel	14.9 t/h	Refer to Appendix C for detailed calculation
	(2)''	hours	24 h/day	
		Trash required as fuel on weekends	358 t/day	(1)'' × (2)''

Harvesting sugarcane in the area surrounding Rajburi starts in January. According to the 2005 Thai calendar, it can therefore be calculated that the amount of trash used by the Project (approximately 46,600 t/y) will be burnt over a period of 123 days⁴.

2) Procurement and availability of rice husks

Due to the limited supply of sugarcane trash, the Project plans to buy in rice husks when trash is not available. As mentioned earlier, the Project will sell electricity to EGAT for 330 days, of which 123 days will use trash as a fuel for electricity generation. Hence, the remaining 207 days (of which 171 days are weekdays and 36 days are holidays) will utilize rice husks as fuel.

According to Rajburi, the calorific value of rice husks is 3,440 kcal/kg, 1.211 times that of sugarcane trash (3,440 kcal/kg ÷ 2,840 kcal/kg⁵).

The daily amount of rice husks required as fuel is calculated as follows:

Weekdays: 381 t/day ÷ 1.211 = 314 t/day

Weekends: 358 t/day ÷ 1.211 = 296 t/day

As mentioned above, the 207 day total consists of 171 weekdays and 36 holidays and the total amount of rice husks required is therefore calculated at approximately at 64,300 t/y.

$$314 \text{ t/day} \times 171 \text{ days} + 296 \text{ t/day} \times 36 = 64,300 \text{ t}$$

3) Biomass availability for the Project

The following table summarizes cane production and estimated fuel supply for the Project.

Table 3. Cane yield and amount of biomass available for the Project

Item	Quantity to be procured (tons/year)	Remarks
Cane yield	863,200 t-c/y	Average yield over the past 5 years
Production period for cane	87 days/y	Yield ÷ 9880 t-cane/day (daily amount of cane processed at Rajburi Sugar Factory)
Availability of biomass: Trash	46,600 t/y	Collected during the sugar

⁴ From January 1st to May 3rd (98 weekdays and 25 weekends and holidays).

⁵ According to the lab analysis, calorific value of trash used as fuel is calculated at 2,840 kcal/kg.

		production period (87days)
Rice husks	64,300 t/y	Purchased during the non-production period (207 days)

A.3 Project participants:

Rajburi Sugar Co., Ltd. (RSC)

RSC is one of the leading sugar manufacturing companies in Thailand. As the local counterpart of the Project, RSC supports the activities of the Special Purpose Company (SPC) by providing advisory information and operational technologies. Full-time project development and management staff at RSC will manage SPC, which will in turn undertake comprehensive development and financial responsibility. RSC also funds the Project.

General Environmental Technos Co., Ltd. (Kanso Technos) – CDM Advisor/Official Contact
Kanso Technos is involved in the Project as CDM advisor. Specializing in the environmental engineering business for more than 30 years, Kanso Technos has, in recent years, been stepping up efforts to address global environmental issues. Kanso Technos is a subsidiary of The Kansai Electric Power Co., Inc., group: the second largest utility company in Japan.

A.4 Technical description of the project activity:

A.4.1 Location of the project activity:

A.4.1.1 Host country Party(ies):

The Kingdom of Thailand

A.4.1.2 Region/State/Province etc.:

Ratchaburi Province

A.4.1.3 City/Town/Community etc:

9 Moo 6 Berkprai, Baan Pong



Figure 4. Project site (Rajburi Sugar Factory)

A.4.1.4 Detailed description of the physical location, including information allowing the unique identification of this project activity (*max one page*):

The plant will be located on a 7-hectare site adjacent to the RSC premises in Ratchaburi province, approximately 100km west of Bangkok. RSC has long-term agreements with approximately 500 sugarcane farmers principally within 90 km of its plant.

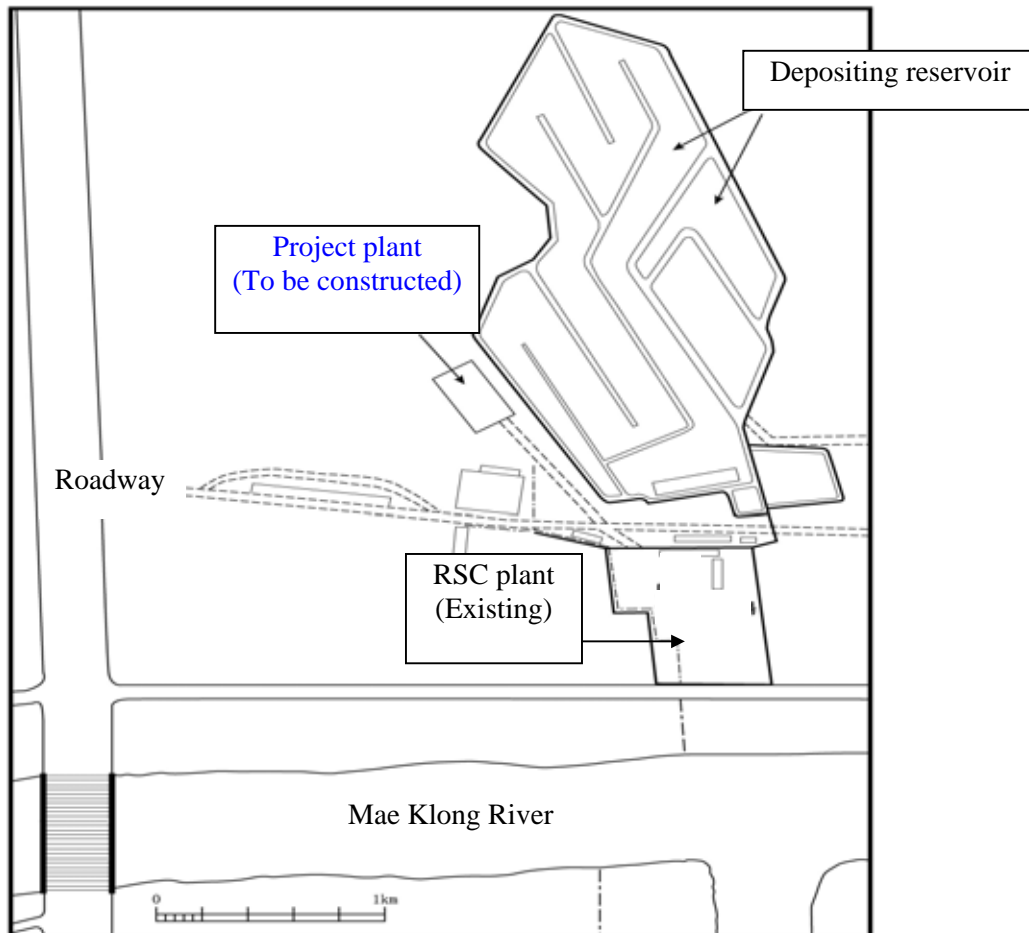


Figure 5. Image of the project site

Most of the country's sugar factories including the RSC plant are located in Central Thailand. This area is the source of 40% of the national sugarcane production, with 23.1 million tonnes yielded in 2001-2002⁶. Accounting for 1 to 2% of the nation's total, RSC annually produces 863,200 tonnes of sugarcane on average, of which 145,880⁷ tonnes are unused as trash.

It is noteworthy that RSC established a new local irrigation system named "Norng Panchan Project" for sugarcane cultivation, covering over 630 acres and 147 cane farmers. Supported by the co-operative effort of the Department of Irrigation, this national pilot project with an extensive network of irrigation

⁶ Source: Agricultural Statistics of Thailand, Office of Agricultural Economics, Thailand
(<http://www.oae.go.th/statistic/yearbook/2001-02/indexe.html>)

⁷ Average sugarcane yield at Rajburi \times trash to sugarcane ratio = 863,200 t/y \times 16.9% = 145,880 t/y

canals well-adapted to the rich local alluvial plain, received funding totalling 96 million Baht from the Asian Development Bank (ADB).

A.4.2 Type and category(ies) and technology of project activity

1. Type and category(ies) of project activity:

The Project will use the following type and category(ies):

Type-I.D. - Renewable electricity generation for a grid

The Project conforms to the project type and category selected because it uses renewable biomass in the form of trash and rice husk as fuel at a power plant with 9.64MW planned capacity, to generate electricity for a grid (EGAT).

2. Electricity sales to EGAT

The main channel for EGAT's purchases of renewable energy is the *Small Power Producer Program*⁸. RSC will apply for a 30-year firm power purchase agreement (PPA) with EGAT under the SPP Program. Considering the maximum capacity of the existing grid connected to the RSC factory, it is expected to sell 8MW to EGAT, while the plant will be designed to generate 9.64MW electricity. As per EGAT's request specified in the SPP program, however, the electricity to be sold during the night on Weekdays should be 75 % of the daytime quantity. This rule is also applied to the supply on Sundays and Holidays. Thus, the plant will supply a contracted capacity of 8MW in daytime and 6MW in nighttime on Weekdays, and 6 MW in all day on Sundays and Holidays.

Given RSC's plan to operate the plant for 13.5 hours in daytime and 10.5 hours in nighttime, 330 days a year, the total electricity to be generated by RSC will be 76,348.8MWh/yr:

$$9.64\text{MW} \times 24 \text{ hr} \times 330 \text{ days} = 76,348.8\text{MWh/yr}$$

With the aforementioned hourly and weekly fluctuations of supply taken into consideration, the expected amount of electricity sales to EGAT will be 54,810MWh/yr:

- 1) Daytime on Weekdays: $8 \text{ MW} \times 13.5 \text{ hr} \times 270 \text{ days} = 29,160\text{MWh/yr}$
- 2) Nighttime on Weekdays: $6 \text{ MW} \times 10.5 \text{ hr} \times 270 \text{ days} = 17,010\text{MWh/yr}$
- 3) Sundays and Holidays: $6\text{MW} \times 24\text{hr} \times 60 \text{ days} = 8,640\text{MWh/yr}$

$$1) + 2) + 3) = 54,810 \text{ MWh/yr}$$

The Project, on the other hand, plans to supply surplus thermal energy generated through cogeneration to alcohol brewing plants to be invited by the Project, which require steam for processing of molasses to make alcohol products. Securing 78% of the remaining electricity or 19197.8MWh/yr for internal use at the project plant, the Project will sell the other 22% or 2,341MWh/yr of electricity to the alcohol manufacturers.

⁸ A Small Power Producer (SPP) can be a private, government or state enterprise that generates electricity either (a) from non-conventional sources such as wind, solar and mini-hydro energy or fuels such as waste, residues or biomass, or (b) from conventional sources provided they also produce steam through cogeneration.

To sum up, the Project expects to produce approximately 76,348.8MWh of electricity annually, of which 54,810MWh will be sold to EGAT, 2,341MWh to the brewing plants, and the remaining 19197.8MWh will be consumed internally at the project plant.

3. Technology to be transferred:

The Project differs from all other biomass power generation projects in Thailand. While other projects simply rely on a single biomass fuel for use at their power plants, the Project uses two major sources of agricultural waste: sugarcane trash and rice husks. It should be particularly noted that the Project's plans to use sugarcane trash set a precedent in Thailand, as the amount of work involved in its collection was previously believed to render it unprofitable as a fuel. Without the Project, trash would continue to be left to decay on the field.

The new technology implemented by the Project collects trash left on the field after harvest. The Project's mechanization of trash collection is of great significance in terms of technology transfer, introducing new trash collecting equipment in the form of tractors, twin rakes, balers and front loaders. Tractors are used as a "driver" for this new equipment, throughout the whole process of trash collection from baling to loading of trash, as follows:

Step 1. Attach rakes to tractors to collect trash left on the field after harvesting the sugarcane.

Step 2. Replace rakes with balers to roll the collected trash into round bales

Step 3. Change from balers to front loaders to load the bales of trash onto trucks.

Figure 6 shows trash collection in progress⁹.

⁹ Source: 'How to make rolled grass', Utanobori-cho, Hokkaido (<http://www.town.utanobori.hokkaido.jp/>)



<1.Raking grass>



Grass raked into rows



<2. Baling grass>



<3.Transportation and loading of bales>

Figure 6. Trash collection

The Project also intends that the ash derived from trash combustion at the plant be returned to the farms for use as a valuable fertilizer. This will eliminate the environmental issue of trash disposal while also reducing GHG emissions from the use of fossil fuel in sugar manufacture. By setting the precedent for use of this state-of-the-art technology in Thailand, the Project plays an important role in technology transfer.

A.4.3 Brief statement on how anthropogenic emissions of greenhouse gases (GHGs) by sources are to be reduced by the proposed CDM project activity:

The Project will reduce anthropogenic GHG emissions by replacing fossil fuel-based electricity generation with carbon-neutral biomass electricity generation. GHG reductions will be achieved in 2 ways – generating electricity for both the national grid and for alcohol production in breweries. (The latter source, however, is not included in emission calculations in order to keep the estimates simple and conservative). As shown in section E, the Project will generate an average of approximately 32,119 tons of CERs annually or 224,833 tons over the entire 7-year initial crediting period.

A.4.4 Public funding of the project activity:

The financial plans for the Project do not involve public funding from Annex I countries.

A.4.5 Confirmation that the small-scale project activity is not a debundled component of a larger project activity:

The Project can qualify to use simplified modalities and procedures for small-scale CDM project activities, on the ground that this particular project was originally initiated and developed by the project participants by whom no other CDM project activities were previously conducted.

B. Baseline methodology

B.1 Title and reference of the project category applicable to the project activity:

Title: Renewable Energy Project - Renewable Electricity Generation for a Grid

Reference: Type 1.D Appendix B of simplified M&P for small-scale CDM project activities

B.2 Project category applicable to the project activity:

The proposed CDM Project activity is a renewable energy project and will be utilizing biomass combined heat and power (co-generation) system that supplies electricity to a grid. Hence, the methodology as described in Type 1.D of Appendix B, which is designed for renewable electricity generation for a grid, is suitable for the proposed project activity.

B.3 Description of how the anthropogenic GHG emissions by sources are reduced below those that would have occurred in the absence of the proposed CDM project activity

1. Justification of using simplified methodologies:

As per item 25 Appendix B of simplified M&P for small-scale CDM project activities, the sum of all forms of energy output shall not exceed $45\text{MW}_{\text{thermal}}$ to qualify as a small-scale CDM for co-generation system. In the Project, the rated output of the first boiler is 60t/y, which is equivalent to approximately 42MW (<45rMW) on applying the formula, steam 1kg/h = 0.7kW. Therefore, the Project qualifies as a small-scale CDM for the co-generation system.

2. Assessment of additionality:

<Common Practice Barrier>

Common practice in Thailand, today, is simply to leave the trash in the field to decay, as it is very labor intensive to collect and there is no end-market for the product. It is a clear example of a new type of biomass for which experience in its collection from dispersed sources is lacking. Since the implementation of such a new system entails high risks, especially during its early stages, this has so far prevented the use of trash as biomass fuel in Thailand.

<Investment Barrier>

IRR without the Project (without CER) is estimated to be only 7.91%. The current interest rate on the long-term national bond of Thailand (A⁻-rated by the rating firm S&P) is approximately 6%. This indicates that a number of financially more viable alternatives to the project activity would be available to potential investors in the host country, and that such alternative project activities would have led to higher emissions in comparison to the proposed activity, in which only biomass fuel would be utilized for power cogeneration.

If registered under the CDM scheme, as earlier mentioned above, the Project will generate 32,119 tonnes of CERs annually. At the price of US\$5, the CERs will enhance the Project's IRR by 1.15% to 9.06%. In the eye of the investors, therefore, one of the benefits of the Project is its CDM potential.

An added incentive for investors is the higher status associated with CDM designation. The Project will publicly highlight its participants' environmental commitment, and will also confer benefit of pioneering the learning experience for the CDM process.

In view of the above, the proposed project activity would not occur anyway mainly due to the investment barrier. Hence, the Project is additional and would generate additional emission reductions.

B.4 Description of the project boundary for the project activity:

Of the following 5 steps of the Project, the Project boundary related to the baseline methodology is shown within the dotted line in the Figure 7.

- During the sugar production period, trash will be collected by tractors with baling equipment and then delivered to the new power plant.
- During non-sugar production period, rice husk will be purchased from rice milling plants and delivered to the new power plant.
- Crush trash and rice husk by crushing equipment. Use them as boiler fuel to produce 60t/h steam, and generate 9.64MW electricity.
- 8MW out of 9.64MW electricity is sold to EGAT during daytime. (6MW, which is equivalent to 75% of the daytime quantity, is sold to EGAT during the night on weekdays and throughout the day on Sundays and national holidays.)
- 7t/h out of 60t/h steam is supplied to alcohol factory.

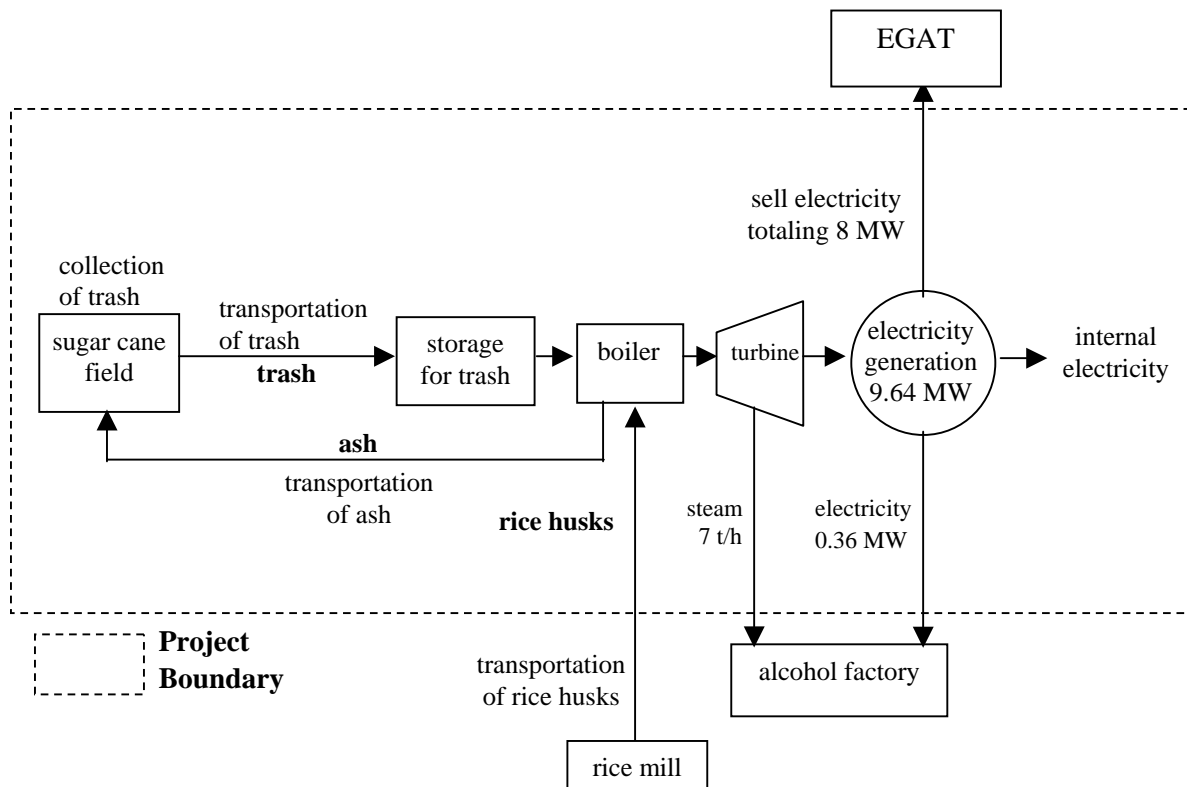


Figure 7. Project Boundary

B.5 Details of the baseline and its development:

B.5.1 Specify the baseline for the proposed project activity using a methodology specified in the applicable project category for small-scale CDM project activities contained in appendix B of the simplified M&P for small-scale CDM project activities:

This proposed project is to reduce CO₂ emission by replacing fossil fuel by biomass fuel, which is net zero CO₂ emission based on the carbon neutral. Hence, the baseline CO₂ emission in the Project equals to the amount of CO₂ emission reduction by supplying biomass-generated electricity to EGAT.

The option 29(b) in Appendix B of the simplified M&P for small-scale CDM was chosen because data for the generation mix of the EGAT grid is readily available, whereas data on the “approximate operating margin” and “build margin” needed for option 29(a) is difficult to gather. Data in 2002 is used for the calculation of the Project baseline, since it is the latest data available as of now.

Based on aforementioned option 29(b), the Project Activity’s baseline is calculated by multiplying the electricity produced by the renewable generating unit (referred to hereafter as ‘annual amount of biomass generated electricity’) by emission coefficient of the current generation mix (referred to hereafter as ‘average CO₂ emission factor’).

$$\begin{array}{rcccl} \text{Baseline} & & \text{annual amount} & & \text{average} \\ \text{CO}_2 & & \text{of biomass} & & \text{CO}_2 \\ \text{emission} & = & \text{generated} & \times & \text{emission} \\ & & \text{electricity} & & \text{factor} \end{array}$$

As mentioned in A.4.2, the amount of biomass-generated electricity supplied to EGAT is estimated to be 54,810 MWh/y.

Based on the data of electricity generation per fuel in 2002¹⁰ and IPCC default values¹¹, the average CO₂ emission factor in 2002 is calculated as 0.586 t-CO₂/MWh. (For detailed calculation, refer to Section E)

Therefore,

¹⁰ Source: EGAT Power Development Plan (PDP) 2003

¹¹ Source: Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Reference Manual

$$\begin{aligned}
 \text{Baseline CO}_2 \text{ emission (tCO}_2\text{/y)} &= \text{annual amount of biomass generated electricity (MWh/y)} \times \text{average CO}_2 \text{ emission factor (tCO}_2\text{/MWh)} \\
 &= 54,810 \times 0.586 \\
 &= 32,119 \text{ tCO}_2\text{/y}
 \end{aligned}$$

Hence, the baseline CO₂ emission is estimated at 32,119 t-CO₂ / y.

B.5.2 Date of completing the final draft of this baseline section (*DD/MM/YYYY*):

March 2005

B.5.3 Name of person/entity determining the baseline:

Kyoto Mechanisms Business Office
 Environmental Assessment Department
 General Environmental Technos Co., Ltd.
 1-3-5 Azuchimachi, Chuo-ku, Osaka, Japan 541-0052
 Tel: +81-6-6263-7407

C. Duration of the project activity and crediting period

C.1 Duration of the project activity:

C.1.1 Starting date of the project activity:

01/04/2007 (Starting date for plant operation)

C.1.2 Expected operational lifetime of the project activity:

21y

C.2 Choice of the crediting period and related information:

C.2.1 Renewable crediting period (*at most seven (7) years per crediting period*)

C.2.1.1 Starting date of the first crediting period (*DD/MM/YYYY*):

01/04/2007 (Starting date of the Project activity)

C.2.1.2 Length of the first crediting period:

7y

C.2.2 Fixed crediting period (*at most ten (10) years*):

C.2.2.1 Starting date (*DD/MM/YYYY*):

Not applicable.

C.2.2.2 Length (max 10 years):

Not applicable.

D. Monitoring methodology and plan

D.1 Name and reference of approved methodology applied to the project activity:

Item 31, Monitoring for Type I.D - Renewable electricity generation for a grid, Appendix B of the simplified M&P for small-scale CDM project activities: "Monitoring shall consist of metering the electricity generated by the renewable technology. In the case of co-fired plants, the amount of biomass input and its energy content shall be monitored."

D.2 Justification of the choice of the methodology and why it is applicable to the project activity:

In the Project, the rated output of the first boiler is 60t/y, which is equivalent to approximately 42MW (<45MW) when applying the formula, steam 1kg/h = ca. 0.7kW. This is less than the 45MW threshold for the small-scale CDM.

D.3 Data to be monitored:

In accordance with item 31 in Appendix B of simplified M&P, which prescribes monitoring requirement for Type I.D. projects, the data to be monitored in relation to the Project will be the meter readings of electricity exported by the new power plant to EGAT grid.

Since the Project's new equipment is designed only for biomass and is not a co-fired plant, the amount of biomass input and its energy content need not be monitored.

Electricity exported by the new power plant to EGAT grid is measured and recorded monthly by reading the electric meter directly. As a means of further quality assurance, accounting data is also kept and verified to confirm the data accuracy.

ID number	Data type	Data variable	Data unit	Measured (m), calculated (c) or estimated (e)	Recording frequency	Proportion of data to be monitored	How will the data be archived? (electronic/paper)	For how long is archived data to be kept?	Comment
D.3.1	Quantitative	Electricity exported to EGAT grid	MWh	m	monthly	100%	electronic	Min. of 2 years after last CER issuance.	-

D.4 Name of person/entity determining the monitoring methodology:

Kyoto Mechanisms Business Office
 Environmental Assessment Department
 General Environmental Technos Co., Ltd.
 1-3-5 Azuchimachi, Chuo-ku, Osaka, Japan 541-0052
 Tel: +81-6-6263-7407

E. Calculation of GHG emission reductions by sources

E.1 Formulae used:

E.1.1 Selected formulae as provided in appendix B:

1. Baseline emission

The formula of 29(b) for Type 1.D. in Appendix B of the simplified M&P for small-scale CDM is selected for calculating electricity baseline emission for the Project.

Based on the above item 29(b), the Project Activity's baseline is calculated by multiplying the electricity produced by the renewable generating unit (referred to hereafter as 'annual amount of biomass generated electricity') by emission coefficient of the current generation mix (referred to hereafter as 'average CO₂ emission factor') as represented below.

$$\begin{array}{rcccl} \text{Baseline} & & \text{annual amount} & & \text{average} \\ \text{CO}_2 & & \text{of} & & \text{CO}_2 \\ \text{emission} & = & \text{biomass} & \times & \text{emission} \\ & & \text{generated} & & \text{factor} \\ & & \text{electricity} & & \end{array}$$

As described earlier in A.4.2, annual amount of biomass generated electricity is 54,810MWh/yr.

Average CO₂ emission factor is calculated as follows;

$$\begin{array}{rcccl} \text{Average} & & \text{total} & & \text{total} \\ \text{CO}_2 \text{ emission} & = & \text{CO}_2 & \div & \text{electricity} \\ \text{factor} & & \text{emission} & & \text{generation} \\ \text{(t-CO}_2\text{/MWh)} & & \text{(tCO}_2\text{)} & & \text{(MWh)} \end{array}$$

EGAT grid data in 2002¹², as represented in the ensuing table, is gathered to calculate total CO₂ emission and total electricity generation.

¹² Source: EGAT Power Development Plan (PDP) 2003

Table 4. Energy generation and fuel requirement in Thailand 2002

EGAT Data (2002 Actual)				
Fuel Type	GWh	MMSCFD	10 ⁶ liter	10 ⁶ ton
	(A)			
Hydroelectric				
EGAT	6,481			
LAO PDR	2,807			
Total	9,288			
Natural Gas				
EGAT	35,608	860		
EGCO	11,647	309		
RATCH	10,872	246		
IPP	9,317	218		
Total	67,443	1,632		
Heavy Oil				
EGAT	2,024		521	
RATCH	0		0	
Total	2,024		521	
Diesel Oil				
EGAT	258		67	
Lignite				
EGAT	16,890			15.2
Imported Coal				
IPP	0			0
Total	0			0
Renewable Energy	648			
EGAT-TNB	13			
New Capacity	0			
Grand Total	96,564			

Annual CO₂ emissions for each fuel type except for EGAT-TNB in 2002 were calculated as shown below. (All input data used for these calculations, including the relevant section of EGAT-PDP, is provided in Appendix D).

$$\begin{array}{ccccccc} \text{CO}_2 & & \text{grid} & & \text{net} & & \text{C emission} & & \text{fraction of} & & \text{mass} \\ \text{emission per} & = & \text{fuel} & \times & \text{calorific} & \times & \text{factor} & \times & \text{C oxidized} & \times & \text{conversion} \\ \text{fuel type} & & \text{consumption} & & \text{value} & & \text{per fuel type} & & \text{per fuel} & & \text{factor} \\ \text{(tCO}_2\text{)} & & & & & & \text{(tC/TJ)} & & \text{type} & & \text{(tCO}_2\text{/tC)} \end{array}$$

With regard to EGAT-TNB, annual CO₂ emission was calculated using CO₂ emission factor of 0.595 CO₂/kWh (grid average generation), as used by the government of Malaysia¹³.

By combining the results per fuel type, the total CO₂ emission for the grid in 2002 was calculated at 56,571,403 tCO₂.

Therefore,

$$\begin{array}{rcl} \text{Average CO}_2 & & \text{Total} \\ \text{emission factor} & = & \text{CO}_2 \text{ emission} \\ \text{(tCO}_2\text{/MWh)} & & \text{(tCO}_2\text{)} \\ & & \div \\ & & \text{Electricity generation} \\ & & \text{(MWh)} \\ & = & 56,571,403 \\ & & \div \\ & = & 96,564 \\ & = & 0.586 \text{ tCO}_2\text{/MWh} \end{array}$$

The amount of CO₂ emissions displaced by the Project is calculated by multiplying the emission factor obtained above by the amount of electricity supplied to the grid by the Project (54,810 MWh/y).

$$\begin{array}{rcl} \text{CO}_2 & & \text{Electricity} \\ \text{emission} & = & \text{exported by} \\ \text{(tCO}_2\text{/y)} & & \text{the Project} \\ & & \text{(MWh/y)} \\ & & \times \\ & & \text{CO}_2 \\ & & \text{emission} \\ & & \text{factor} \\ & & \text{(tCO}_2\text{/MWh)} \\ & = & 54,810 \\ & & \times \\ & = & 0.586 \\ & = & 32,119 \text{ tCO}_2\text{/y} \end{array}$$

2. CO₂ emission due to the Project activity within the Project boundary

Sources of GHG emissions due to the Project Activity within the boundary consist of biomass combustion for electricity generation and ancillary activities such as start-up operation, collection and transportation of biomass fuel, and transportation of ash.

¹³ "Determination of Greenhouse Gas Emission Baselines for the Power Generation Sector in Malaysia (2003)", government of Malaysia.

The IPCC Guidelines stipulate that biomass combustion is assumed to equal its regrowth¹⁴. Based on these guidelines, the volume of CO₂ produced by combusting biomass fuel (sugarcane trash and rice husk) in the Project's boiler is considered equal to the amount of CO₂ absorbed by sugarcane and rice as they grow.

Appendix B of the simplified M&P does not require monitoring of GHG emissions from ancillary activities. It is therefore deemed unnecessary to include them in the project emissions calculation.

For reference, section below is an analysis of GHG emission due to the ancillary activity in the Project.

1) Collection of trash on sugarcane field (on-site transport)

Annual CO₂ emissions due to on-site transport of trash are calculated using the formula below:

$$\begin{array}{l} \text{CO}_2 \text{ emissions} \\ \text{due to on-site} \\ \text{transport of} \\ \text{trash} \\ \text{(tCO}_2\text{/y)} \end{array} = \begin{array}{l} \text{transportation} \\ \text{fuel} \\ \text{used on-site} \\ \text{(kg/y)} \end{array} \times \begin{array}{l} \text{CO}_2 \\ \text{emission factor} \\ \text{for transportation} \\ \text{fuel} \\ \text{(gCO}_2\text{/kg)} \end{array}$$

As described in A2, the Project will use 7 tractors each equipped with twin rakes, balers and front loaders for the collection of trash. Tractors will be the only GHG emission source for the on-site transport of biomass since none of the other the equipment (twin rakes, balers and front loaders) attached to the tractors have their own engines and all are driven purely by the tractors themselves.

The amount of diesel used by each 90PS tractor is estimated at 17.19 kg/h¹⁵. Multiplying this figure by the daily operating hours (8 hrs/day) and the number of days operated annually (87 days/y) results in approximately 11,964 kg/y of diesel per baler. Hence, the total amount of diesel used by all 7 balers is estimated at approximately 83,748 kg/y.

The following table provides a summary of the fuel consumption.

¹⁴ Source: Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Workbook

¹⁵ According to the Mechanized Cultivation Laboratory, Upland Crop Division, Hokkaido Agricultural Experiment Station, the hourly weight of diesel used per PS for a 90PS tractor is 0.191 kg/PS/h. Therefore, the amount of diesel used by each 90PS tractor is 0.191 kg/PS/h × 90PS = 17.19 kg/h.

Table 5. Summary of tractor diesel consumption

	Item	Value	Remarks
(1)	PS of tractor	90 PS/tractor	
(2)	# of tractors used	7 tractors	Refer to A.2.
(3)	Hourly weight of diesel consumed per tractor	0.191 kg/PS/h	See footnote 16
(4)	Operating hours	8 hours/day	
(5)	Operating days	87 days/y	
(6)	Annual amount of diesel consumed per tractor	11,964 kg/y	(3) × (1) × (4) × (5)
(7)	Total diesel consumed by tractors	83,748 kg/y	(6) × (2)

Based on IPCC guidelines, emission factors for CO₂ is 3,140 gCO₂/kg¹⁶.

Therefore,

$$\begin{aligned}
 \text{CO}_2 \text{ emissions due to on-site transport of trash (tCO}_2\text{/y)} &= \text{Transport fuel used on-site (kg/y)} \times \text{CO}_2 \text{ emission factor for transportation fuel (gCO}_2\text{/kg)} \\
 &= 83,748 \times 3,140 \\
 &= 263 \text{ tCO}_2\text{/y}
 \end{aligned}$$

Thus, total CO₂ emissions due to the on-site transport of trash are calculated at approximately 263 tCO₂/y.

2) Transportation of biomass fuel to the new plant

The total amount of trash carried from the sugarcane field to the generation facility comes to 46,600 t/y. This trash will mainly be transported by 20-ton trucks, which fall into the category of heavy-duty vehicles. The IPCC default factors for CO₂ from heavy-duty vehicles (U.S.) is 1,097 g/km. The average return trip, based on RSC data, is estimated at 100km.

¹⁶ 'Estimated Emission Factors for European non-road mobile sources and machinery for agriculture using diesel engines' (Table 1-49), Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: reference Manual.

Following are the formula and data used for calculating emissions from transportation of trash.

$$\begin{array}{l} \text{CO}_2 \text{ emission} \\ \text{from} \\ \text{transportation of} \\ \text{trash} \\ \text{(t-CO}_2\text{/y)} \end{array} = \begin{array}{l} \text{Annual distance} \\ \text{travelled} \\ \text{(km/y)} \end{array} \times \begin{array}{l} \text{CO}_2 \text{ emission} \\ \text{factor for heavy} \\ \text{truck} \\ \text{(kg-CO}_2\text{/km)} \end{array}$$

Table 6 summarizes the calculation of annual CO₂ emissions from the transportation of trash.

Table 6. Summary of the calculation for CO₂ emission due to transport of trash

	Item	Value	Remarks
(1)	Amount of trash transported	46,600 t/y	Refer to A.2
(2)	Trucks used for transportation of trash	20 ton trucks	Rajburi Sugar Data
(3)	Specific gravity of trash	0.25	Provided by the manufacturer.
(4)	Amount of trash transported per trip	5 t/trip	(2) × (3)
(5)	Average return trip distance	100 km/return trip	Rajburi Sugar Data
(6)	CO ₂ emission factor for heavy trucks	1,097 gCO ₂ /km	IPCC default data
(7)	Annual distance travelled	932,000 km/y	(1) ÷ (4) × (5)
	Total CO₂ emission due to transport of trash to the generation facility	1,022 tCO₂/y	(7) × (6)

Meanwhile, about 64,300 t/y of rice husks will be transported from the market to the generation facility using the same type of truck as for trash transportation. The average return distance is 200km per trip.

Following the same procedures and conditions used for the calculation of trash transportation, the annual CO₂ emission from the transport of rice husks is calculated at 2,821 tCO₂/y.

Thus, the total CO₂ emission from the transport of biomass fuel is calculated at 3,843 tCO₂/y.

3) Transportation of ash back to the sugarcane field

The ash resulting from the use of trash as a fuel at the generation facility will be returned to the sugarcane field as fertilizer. This ash will be carried back to the field by the trucks returning after delivering trash to the generation facility. Therefore, there will be no additional CO₂ emission due to the transportation of the ash.

4) Start-up/auxiliary fuel use

No fossil fuel will be used as an auxiliary fuel in the cogeneration plant. The start-up fuel for the plant is trash itself. Therefore, CO₂ emission due to the start-up/auxiliary fuel use is 0 tCO₂.

3. Leakage due to the Project activity

The Project activity's renewable energy is produced by new equipment installed for the first time. Therefore, no leakage calculation is required, per item 30 Appendix B of simplified M&P for small-scale CDM project activities. However, as described in item 8 under the General Guidelines, Appendix B of simplified M&P for small-scale CDM project activities, leakage is considered in the case of biomass projects.

As to the usage of sugarcane trash outside the Project boundary, there is neither information nor fact that these are used as a substitute for fossil fuel. For reference, the potential amount of trash collectable from sugarcane production in Ratchaburi Province is calculated as follows:

The average amount of sugarcane produced in Ratchaburi Province from 1999 to 2001 was 2,756,000 tons¹⁷. As mentioned earlier in A.2, the proportion of trash produced from sugarcane is estimated at 16.9%. Hence, the average amount of potential trash collectable from the total production of sugarcane in Ratchaburi Province from 1999 to 2001 is:

Average amount of trash collected in Ratchaburi Province (ton/y)	=	Average volume of sugarcane produced in Ratchaburi Province (ton/y)	×	Component ratio of trash per sugar cane (%)
	=	2,756,000	×	16.9%
	=	465,764 ton/y		

As described in A.2.4, the amount of trash collected for grid generation in the Project is 46,600 t/y. Hence, the amount of trash used for the Project, 46,600 t/y, is merely 10%¹⁸ of the total trash produced in Ratchaburi Province.

On the other hand, approximately 30% of rice husks have been used as fuels or as mulch, or for biomass cogeneration at Small Power Producers (SPP) in the host country.

There is no official data available on the amount of rice husk production. However, according to Office of Agricultural Economics, Thailand, 23 – 26% of the gross weight of unhusked rice are rice husks. Using this figure, the average annual production volume of rice husk is calculated at 1.54 million tons¹⁹ in central Thailand where Ratchaburi province belongs.

¹⁷ Source: Agricultural Statistics of Thailand, Office of Agricultural Economics, Thailand
(<http://www.oae.go.th/statistic/yearbook/2001-02/indexe.html>)

¹⁸ 46,600 t/y ÷ 465,764 = 0.10

¹⁹ 1,399,841 ton/y in 1999, 1,465,186 ton/y in 2000, 1,638,413 ton/y in 2001, 1,660,938 ton/y in 2002

According to the hearings from each SPPs²⁰ in central Thailand, estimated amount of rice husk currently used as fuel was calculated at approximately 270,000 tons/y, which equivalents to 16% of the total rice husk produced in central Thailand in 2002. Together with the above mentioned 30% of rice husks which have been used as fuel or as mulch, it can be calculated that approximately 50% of rice husks are still dumped or burned. Hence, the amount of rice husk used for the Project, 64,300 t/y, is merely 8%²¹ of the dumped or burned rice husk in central Thailand.

It is therefore concluded that the Project will neither lead to the displacement of new trash and/or rice husk plants nor fuel diversion to carbon-intensive fuels, even if the crop yield is halved in a lean year or under abnormal weather conditions. The Project will effectively utilize the abundant agricultural residues of trash and rice husks for power generation. This will result in a reduction of GHG emissions associated with current trash and rice husk disposal.

In addition, the ash of sugarcane trash after being used as a fuel will be returned to the sugarcane field as fertiliser, and therefore there will be no need to use additional chemical fertilisers that emit nitrous oxide (N₂O) in the sugarcane field. As a conclusion, no leakage will occur due to the Project activity.

4. The emission reduction due to the Project

Since there is no CO₂ emission from biomass combustion nor transportation of biomass to compute in relation to the Project, the reduction of CO₂ emission realized by the Project is estimated at 32,119 t- CO₂ annually.

E.1.2 Description of formulae when not provided in appendix B:

E.1.2.1 Describe the formulae used to estimate anthropogenic emissions by sources of GHGs due to the project activity within the project boundary:

Not applicable.

E.1.2.2 Describe the formulae used to estimate leakage due to the project activity, where required, for the applicable project category in appendix B of the simplified modalities and procedures for small-scale CDM project activities

Not applicable.

E.1.2.3 The sum of E.1.2.1 and E.1.2.2 represents the project activity emissions:

Not applicable.

E.1.2.4 Describe the formulae used to estimate the anthropogenic emissions by sources of GHG's in the baseline using the baseline methodology for the applicable project category in appendix B of the simplified modalities and procedures for small-scale CDM project activities:

²⁰ 5 SPPs : PRG Agriculture in Pathumthani Province, Bio-Mass Power in Chainat Province, Chonnabot Power in Lop Buri Province, U-Thong Bio-Mass and Mitpol Sugar in Suphan Buri Province.

²¹ $64,300 \text{ t/y} \div (1,540,000 \text{ t/y} \times 50\%) = 0.08$

Not applicable.

E.1.2.5 Difference between E.1.2.4 and E.1.2.3 represents the emission reductions due to the project activity during a given period:

Not applicable.

E.2 Table providing values obtained when applying formulae above:

Table 8. CO₂ emission reduction estimates

	Item	calculation	Annual amount
A	Baseline CO ₂ emission		32,119 t-CO ₂ /y
B	Emission due to the Project activity		0 t-CO ₂ /y
C	Leakage due to the Project activity		0 t-CO ₂ /y
D	Total Project CO ₂ emission	B+C	0 t-CO ₂ /y
E	Project CO ₂ emission reduction	A-D	32,119 t-CO ₂ /y

F. Environmental impacts

F.1 If required by the host Party, documentation on the analysis of the environmental impacts of the project activity:

Power plants with less than 10 MW capacity, such as the Project, are not included in the list of prescribed activities requiring Environmental Impact Assessment (EIA) by Environmental Policy and Planning (ONEP)²². However EGAT requires all IPPs to prepare a EIA Report as stipulated in their 1994 Power Purchase Solicitation²³.

All Thai environmental standards conform to the Enhancement Conservation of National Environment Quality Act established in 1992 (the only comprehensive environmental legislation in Thailand). Table 9 compares the Thai environmental standards for air quality with the performance guaranteed by the Project.

Table 9. Environmental Requirements for Air Quality

Environmental Considerations	Thai Standard Requirements	Performance Guaranteed by the Project
Dust	400 mg/Nm ³	below 120 mg/Nm ³
NO _x	250 ppm or 470 mg/Nm ³	below 250 ppm
SO _x	500 ppm or 1300 mg/Nm ³	below 300 ppm

In the most unlikely event that SO_x emissions generated by the project plant exceed the above emissions standard, then the Project will promptly install a desulfurizer to minimize possible environmental impacts on the nearby community.

Other points noted are as follows:

- Wastewater will not be permitted to leave the plant site. Instead, it will be first treated and then evaporated from an evaporating pond.
- The equipment will be mostly housed inside the building. If any such equipment has to be placed outside then low-noise equipment fitted with a noise barrier will be employed as far from the local residents as possible.
- Any nuisance vibration resulting from the operation of the plant is unlikely since compulsory groundwork will be properly carried out before the equipment is set in place.
- With regard to wastewater management, the Project will be monitored in accordance with industrial effluent standards as required by the Thailand Ministry of Science, Technology and Environment²⁴.

²² Refer to “types and sizes of category requiring EIA report”, ONEP (http://www.onep.go.th/eia/english/size/e_size_energy.html)

²³ Power Purchase Agreement Division, EGAT (http://www.egat.or.th/dppd/eng_ipp_rfp.html)

²⁴ Refer to Appendix E for details.

G. Stakeholders comments

G.1 Brief description of the process by which comments by local stakeholders have been invited and compiled:

Hearings were held on several occasions with local stakeholders such as RSC staff and contract farmers. Decisions related to the project activities will be based on the results of a referendum held with the local residents.

G.2 Summary of the comments received:

The director of RSC outlined his expectations regarding the increase in sugarcane and trash production to be implemented by the Project and the additional supply of trash-derived ash to be returned to the field as fertilizer. The director also noted that careful attention should be given to the resulting impacts on sugar content in the crops produced.

Comments received from the RSC farmers were quite supportive of the Project. The mechanization of trash collection was especially popular since skilled manpower for the manual harvesting of sugarcane has been in short supply in recent years. However they suggested that the storage bags for trash, originally planned to be made of plastic, should instead be made of more fire-resistant materials. The only requirements/concern from them was to leave certain amount of trash in the field as they are used as fertilizer.

The Prefectural governor expressed favourable opinions about the Project, its contribution to the Province's sustainable development policy and its great potential for creating job opportunities in a Province where the unemployment rate is high. He also mentioned that referendum will be held by the local residents in case conflicts of interest are created among local stakeholders. The Project will not progress without cooperation between local residents and government.

Department of Agriculture, Ministry of Agriculture and Cooperatives, commented that it is preferable not to collect trash from field to avoid deterioration of soil condition, however, it is possible to collect trash if the field are in good soil condition.

G.3 Report on how due account was taken of any comments received:

In order to ensure the best possible effects from the increase in fertilizer application, the Project is prepared to provide RSC with both anecdotal data and scientific analysis on the potential impacts on sugar content in the crops produced.

In response to the requests of the farmers, the Project is currently seeking alternatives to the existing storage bag, such as the mesh texture bag commonly used for dried plant storage.

Annex 1

CONTACT INFORMATION FOR PARTICIPANTS IN THE PROJECT ACTIVITY

Organization:	Rajburi Sugar Co., Ltd.
Street/P.O.Box:	302 Silom Road
Building:	S & A Building, 2 nd Floor
City:	Bangkok
State/Region:	Bangkok
Postcode/ZIP:	10500
Country:	The Kingdom of Thailand
Telephone:	+66 2237 9999
FAX:	+66 2235 4444
E-Mail:	Rajburisugar@netscape.net
URL:	http://www.rajburisugar.com
Represented by:	
Title:	Assistant Managing Director
Salutation:	Mr.
Last Name:	Arunanondchai
Middle Name:	
First Name:	Tritip
Department:	
Mobile:	
Direct FAX:	
Direct tel:	
Personal E-Mail:	

Organization:	General Environmental Technos Co., Ltd.
Street/P.O.Box:	1-3-5 Azuchimachi, Chuo-ku
Building:	
City:	Osaka
State/Region:	Osaka
Postcode/ZIP:	541-0052
Country:	Japan
Telephone:	+81 6 6263 7300
FAX:	+81 6 6263 7301
E-Mail:	
URL:	http://www.kanso.co.jp
Represented by:	
Title:	Chief Manager
Salutation:	Dr.
Last Name:	Takahashi
Middle Name:	
First Name:	Fumio
Department:	Environmental Assessment Department
Mobile:	
Direct FAX:	+81 6 6263 7407
Direct tel:	+81 6 6263 7309
Personal E-Mail:	takahashi_fumio@kanso.co.jp

Annex 2

INFORMATION REGARDING PUBLIC FUNDING

The financial plans for the Project do not involve public funding from Annex I countries.

Appendix A

Proportion of trash collected from sugarcane fields

A simulation model indicates that the proportion of trash removed from the sugarcane field would not have significant influence on the sugarcane yield for 30 years.

On the other hand, with regard to the physical and chemical properties of the soil, the table below shows the proportion of trash that can be collected from sugarcane fields for the soil carbon content to remain at least at the current level for 30 years, based on the results of simulation.

Type of sugarcane fields	The proportion of trash collectable (based on simulation of the soil carbon content for 30 years)
Irrigated	55%
Non-irrigated	29%

Based on the figures indicated in the table, we concluded that the proportion of trash that can be collected from irrigated and non-irrigated fields is approximately 50% and 30%, respectively.

Appendix B

Amount of trash collected from the sugarcane field by tractor

The amount of trash to be collected daily is calculated from the capacity of the collecting equipment used. The manufacturer's specifications regarding this equipment are as follows.

Equipment	Specification	Manufacturer
Tractor	90PS	Yanmar Co., Ltd.
Twin rakes	120 rolls/h (30 sec/roll)	Takakita Co., Ltd
Baler	24 rolls/h (2.5 min/roll)	Takakita Co., Ltd
Front Loader	120 rolls/h (30 sec/roll)	Sanyo Kiki Co., Ltd.

Given that each trash roll is 1.55m in diameter × 1.2m long with a specific gravity of 0.25, their cubic volume and weight are estimated as follows:

$$0.775 \text{ m} \times 0.775 \text{ m} \times \pi \times 1.2 \text{ m} = 2.26 \text{ m}^3/\text{roll}$$

$$2.26 \text{ m}^3/\text{roll} \times 0.25 = 0.57 \text{ t/roll}$$

Estimated 8 hr working days include the following activities:

- collecting trash: 1.1 hrs/day
- changing from twin rakes to baler: 0.2 hrs/day
- making rolls: 5.6 hrs/day
- loading rolls onto trucks: 1.1 hrs/day

The amount of trash that can be collected per day is therefore:

$$0.57 \text{ t/roll} \times 24 \text{ roll/h} \times 5.6 \text{ hrs/day} = 76.6 \text{ t/day}$$

The number of sets of tractor and equipments is therefore:

$$47,265 \text{ ton} \div 76.6 \text{ t/day} \div 87 \text{ days} = 7 \text{ sets}$$

Appendix C

Daily amount of trash required as fuel for electricity generation

1. Specifications of the Project facility

As designed, 1.28 MW of in-house power is needed to run the 10 MW biomass electric power facility. Since the alcohol plant will consume a further 0.36 MW the facility needs to generate 1.64 MW of electricity over and above the 8 MW to be used for electricity sales. The following table summarizes the specifications of the Project facility.

	Item	Value	Remarks
Installed Capacity	Daytime		
	- Electricity sales	8.0 MW	
	- Power for internal use	1.28 MW	As per design requirements
	- Alcohol plant	0.36 MW	As per design requirements
	TOTAL	9.64 MW	
	Nighttime		
	- Electricity sales	6.0 MW	75% of the daytime amount
	- Power for internal use	1.28 MW	same as in daytime
	- Alcohol plant	0.36 MW	same as in daytime
	TOTAL	7.64 t/day	
Steam Requirement	Daytime		
	- Steam requirement	44.5 t-s/h	9.64 MW x 4.08 + 5.18
	- Steam for alcohol plant	7.0 t-s/h	As per design requirements
	- Steam circulation	8.5 t-s/h	As per design requirements
	TOTAL	60.0 t-s/h	
	Nighttime		
	- Steam requirement	36.4 t-s/h	7.64 MW x 4.08 + 5.18
	- Steam for alcohol plant	7.0 t-s/h	same as in daytime
	- Steam circulation	8.5 t-s/h	same as in daytime
	TOTAL	51.9 t-s/h	

(t-s: ton steam, t-t: ton trash)

2. Amount of trash required to generate steam

According to the lab analysis, calorific value of trash was calculated at 2,840 kcal/kg.

The amount of trash needed to generate the 60 t-s/h of steam (including 7 t-s/h supplied to the alcohol plant) in order to generate 9.64 MW of electricity, during daytime, is calculated as follows:

$$\begin{aligned}
\text{Amount of trash required for steam generation (t-t/h)} &= \text{amount of steam required during daytime (t-s/h)} \times \left(\frac{\text{enthalpy of steam* (kcal/kg)} - \text{enthalpy of condensed water (kcal/kg)}}{\text{efficiency of boiler (\%)}} \right) \div \frac{\text{calorific value of trash (kcal/kg)}}{\left(100 - \text{trash loss** (\%)} \right)} \\
&= 60 \text{ (t-s/h)} \times \left(\frac{784.4 \text{ (kcal/kg)} - 131 \text{ (kcal/kg)}}{85 \text{ (\%)}} \right) \div \frac{2,840 \text{ (kcal/kg)}}{\left(100 - 2.5 \text{ (\%)} \right)} \\
&= 16.7 \text{ t-t/h}
\end{aligned}$$

(*at 32.5 bar G and 425 , **loss during handling and/or the transportation of trash)

For nighttime use, 3% loss due to a load factor of 87% is also included so that the amount of trash required for steam generation during the night is calculated at 14.9 t-t/h.

Appendix D

CO₂ emission in grid

CO₂ emission is estimated using the following formula for each fuel type:

$$\begin{array}{ccccccc} \text{CO}_2 & & \text{grid} & & \text{net} & & \text{C emission} & & \text{fraction of} & & \text{mass} \\ \text{emission per} & = & \text{fuel} & \times & \text{calorific} & \times & \text{factor} & \times & \text{C oxidized} & \times & \text{conversion} \\ \text{fuel type} & & \text{consumption} & & \text{value} & & \text{per fuel type} & & \text{per fuel} & & \text{factor} \\ \text{(tCO}_2\text{)} & & & & & & \text{(tC/TJ)} & & \text{type} & & \text{(tCO}_2\text{/tC)} \end{array}$$

Values for grid fuel consumption for each type of fuel are obtained from EGAT data table as shown in the previous page (“Forecast of Total Energy Generation and Fuel requirements in Thailand”).

Other input variables are obtained from Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories²⁵.

Table below summarizes the calculation of CO₂ emission per fuel type in 2002:

²⁵ Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Reference Manual

EGAT data (2002 actual)			1996 IPCC default data				Calculation			
Type of fuel	GWh	grid fuel consumption		net calorific value**		C emission factor per fuel type (tC/TJ)	fraction of C oxidized per fuel type	mass conversion factor	CO ₂ emission (tCO ₂)	CO ₂ emission factor (tCO ₂ /MWh)
	(A)	(B)		(C)		(D)	(E)	(F)	(G) {(B)x(C)x(D)x(E)x(F)}	(G) ÷ (A)/1000
Hydroelectric	9,288								0	0
Natural Gas*	67,443	1,632	MMSCFD	0.0000409	TJ/Nm ³	15.3	0.995	44/12	36,514,965	0.541419643
Heavy Oil*	2,024	521	MLiters	39.1	TJ/MLiters	21.1	0.99	44/12	1,560,284	0.770891138
Diesel Oil	258	67	MLiters	38.2	TJ/MLiters	20.2	0.99	44/12	187,671	0.727405288
Lignite	16,890	15.2	MTons	12,140.00	TJ/MTons	27.6	0.98	44/12	18,300,749	1.083525691
Imported Coal*	0	0	MTons	26,380.00	TJ/MTons	26.8	0.98	44/12	0	0
Renewable	648								0	0
EGAT-TNB	13								7,735	0.595
New	0								0	0
Total	96,564								56,571,403	0.586

* Exclude SPP.

** Net calorific values for natural gas, heavy oil and diesel oil are obtained from Global Environment Bureau, Ministry of the Environment, Japan (http://www.env.go.jp/earth/ondanka/santeiho/guide/pdf1_4/mat_01i.pdf).

Appendix E

Industrial Effluent Standards

“Industrial Effluent Standards”, issued by the Ministry of Science, Technology and Environment (1996) are as follows²⁶:

	Parameters	Standard Values	Method used for Examination
1	pH value	5.5-9.0	pH Meter
2	Total Dissolved Solids (TDS)	not more than 3,000 mg/l (depending on initial water quality and the type of industry under consideration by PCC) or below 5,000 mg/l not more than 5,000 mg/l (if the water used already has a salinity of more than 2,000 mg/l) or not exceeding the TDS of seawater if discharged into the sea.	Dry Evaporation at 103-105 °C for 1 hour
3	Suspended solids (SS)	not more than 50 mg/l (depending on initial water quality and the type of industry or wastewater treatment system under consideration by PCC) or below 150 mg/l	Glass Fiber Filter Disc
4	Temperature	not more than 40°C	Thermometer during sampling
5	Color and Odor	not objectionable	Not specified
6	Sulfide as H ₂ S	not more than 1.0 mg/l	Titrate
7	Cyanide as HCN	not more than 0.2 mg/l	Distillation and Pyridine Barbituric Acid Method
8	Fat, Oil & Grease (FOG)	not more than 5.0 mg/l (depending on initial water quality and the type of industry under consideration by PCC) or below 15.0 mg/l	Solvent Extraction by Weight
9	Formaldehyde	not more than 1.0 mg/l	Spectro-photometry
10	Phenols	not more than 1.0 mg/l	Distillation and 4-Aminoantipyrine Method
11	Free Chlorine	not more than 1.0 mg/l	Iodometric Method
12	Pesticides	not detectable	Gas-Chromatography

Continued

²⁶ No. 3, B.E.2539 (1996) issued under the Enhancement and Conservation of the National Environmental Quality Act B.E.2535 (1992), published in the Royal Government Gazette, Vol. 113 Part 13 D, dated February 13, B.E.2539 (1996).

13	Biochemical Oxygen Demand (BOD)	not more than 20 mg/l (depending on initial water quality and the type of industry under consideration by PCC) or below 60 mg/l	Azide Modification at 20 °C for 5 days
14	Total Kjeldahl Nitrogen (TKN)	not more than 100 mg/l (depending on initial water quality and the type of industry under consideration by PCC) or below 200 mg/l	Kjeldahl
15	Chemical Oxygen Demand (COD)	not more than 120 mg/l (depending on initial water quality and the type of industry under consideration by PCC) or below 400 mg/l	Potassium Dichromate Digestion
16	Heavy metals		
	1.) Zinc (Zn)	not more than 5.0 mg/l	Atomic Absorption Spectro-photometry; Direct Aspiration or Plasma Emission Spectroscopy; Inductively Coupled Plasma : ICP
	2.) Chromium (Hexavalent)	not more than 0.25 mg/l	
	3.) Chromium (Trivalent)	not more than 0.75 mg/l	
	4.) Copper (Cu)	not more than 2.0 mg/l	
	5.) Cadmium (Cd)	not more than 0.03 mg/l	
	6.) Barium (Ba)	not more than 1.0 mg/l	
	7.) Lead (Pb)	not more than 0.2 mg/l	
	8.) Nickel (Ni)	not more than 1.0 mg/l	
	9.) Manganese (Mn)	not more than 5.0 mg/l	
	10.) Arsenic (As)	not more than 0.25 mg/l	
	11.) Selenium (Se)	not more than 0.02 mg/l	
	12.) Mercury (Hg)	not more than 0.005 mg/l	Atomic Absorption Cold Vapour Technique

Remarks:

- 1) PCC Pollution Control Committee
- 2) These standards were taken from the Notification of the Ministry of Science, Technology and Environment, No. 3, B.E. 2539 (1996) which specifies that the pollution sources to which the above standards are to be applied are factories with group II and III issues under the Factory Act B.E.2535 (1992) and every kind of industrial estate.
- 3) Notification of the Pollution Control Committee, No. 3, B.E. 2539 (1996) dated August 20, B.E. 2539 (1996) details the types of factories (the category of factories issued under the Factory Act B.E.2535 1992) that are allowed to discharge effluent having different standards from the Ministerial Notification No. 3, above. These are:
 1. BOD up to 60 mg/l
 - animal furnishing factories (category 4 (1))
 - starch factories (category 9 (2))

- food from starch factories (category 10)
 - textile factories (category 15)
 - tanning factories (category 22)
 - pulp and paper factories (category 29)
 - chemical factories (category 42)
 - pharmaceutical factories (category 46)
 - frozen food factories (category 92)
2. COD up to 400 mg/l
- food furnishing factories (category 13 (2))
 - animal food factories (category 15 (1))
 - textile factories (category 22)
 - pulp and paper factories (category 38)
3. TKN
- 100 mg/l - effective after 1 year from the date published in the Royal Government Gazette of the Ministerial Notification No. 4
 - 200 mg/l - effective after 2 years from the date published in the Royal Government Gazette of the Ministerial Notification No. 4 for the following factories:
 - 1.) food furnishing factories (category 13 (2))
 - 2.) animal food factories (category 15 (1))