

平成 25 年度 貿易投資促進事業
(実証事業・一般案件)

タイ・ナコンナヨク県
スマートシティ構想実現のための
バイオメタンエネルギーシステム

事業報告書

平成 26 年 3 月

株式会社 関根産業

目次

第 1 章	事業の背景-----	3
第 2 章	事業の目的-----	4
第 3 章	実施体制-----	5
第 4 章	実施スケジュール-----	5
第 5 章	事業の概要-----	6
第 1 節	バイオガスプラント、車載用 ANG 燃料タンク、 家庭用 ANG ボンベの設計・調達-----	6
第 2 節	オペレーションマニュアル作成-----	50
第 2 節	バイオガスプラント、車載用 ANG 燃料タンク、家庭用 ANG ボンベの輸送及びバイオガスプラントの設置-----	75
第 4 節	バイオガスプラントオペレーション安定のための調整 -----	82
第 5 節	オペレーション指導-----	86
第 6 節	ANG 家庭用ボンベ使用試験-----	89
第 7 節	メタンガス成分分析-----	92
第 8 節	臭気対策及び安全対策-----	95
第 9 節	液肥利用-----	96
第 10 節	ANG 車走行試験-----	101
第 11 節	経済性評価と普及-----	103
第 6 章	成果-----	107
第 1 節	技術的成果-----	107
第 2 節	教育的成果-----	108
第 3 節	事業的成果-----	108

第 7 章	今後の課題	109
第 1 節	技術的課題	109
第 2 節	事業化・普及への課題	109

第1章 事業の背景

タイ・ナコンナヨク県前知事（現 ICT 省事務次官）Dr. Surachai Srisaracam は、2012年よりスマートシティ建設計画立案を開始した。人民の幸福を最終目標とし、中央政府と連携しながら教育、セキュリティ、医療、経済、エネルギー、交通、通信等の分野で革新的技術を導入する事により同県の発展を図り、自然と共存するモデル都市として ASEAN 諸国でプロモーションを行い、投資の増大と都市の拡大を図るという壮大な計画である。スマートシティプロジェクトは3ステージに分かれ、まずは公務員の教育から始まり、人民の教育へと移行し、最終ステージで人民の幸福に繋がるサービスが提供できる、人民に奉仕する都市を完成させる。バンコクから車でわずか2時間の所に理想郷が完成すれば、同県に移住する人が増え、バンコクの人口過密問題も慢性的な大渋滞も解決する。



2012年、同計画は国策として予算が確定し、タイ初のスマートシティをナコンナヨク県に建設する事となった。2013年7月10日、Yingluck Shinawatra 首相は財務大臣等を同行させ、同県観光スポットを見学した後、スマートシティプロジェクトキックオフ会議の席で、スマートシティにはゴミ・水処理が極めて重要であるとの見解を表明した。

以上の様な経緯から、ナコンナヨック県知事のアドバイザーを務める名古屋大学・プロジェクトアドミニストレーター竹内氏が、同大学で3年半運転しているバイオガスプラント／システムの導入を勧める事となった。名古屋大学では、学生食堂から排出される食品廃棄物を回収し、大学構内のプラントでメタン発酵し、発生したメタンガスを精製後低圧貯蔵し、ゴミ収集車の燃料として使っている。同システムをナコンナヨック県に導入する事で、水・土壤汚染の低減、食品廃棄物発酵後発生する消化液（液肥）利用による有機栽培促進、エネルギー（バイオメタン）の多目的利用により持続可能で安全な社会形成を行なう事が可能となる。中でもメタンガスの低圧貯蔵技術（ANG: Adsorbed Natural Gas 大量貯蔵技術）に関しては、家庭における安全な燃料容器（ガスボンベ）への活用も実施事業の検討項目となっており、一般家庭を含むスマートシティの実現が期待されている。この様に、提案事業はゴミ処理に留まらず、スマートなエネルギー利用も同時に実現する事から、第11次タイ家経済開発計画に合致していた。又、今後食品廃棄物に限らず、農産廃棄物、畜糞、下水汚泥等を基質としたエネルギー資源化も推進できる。更に、イメージ向上による観光客の増加、ゴミ処理コストの低減、同モデルの他県への導入が期待できる。

第2章 事業の目的

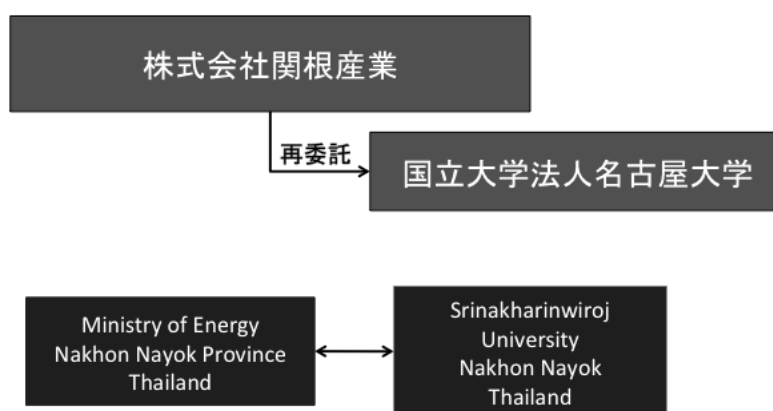
タイにおいては、急速な経済発展に伴い増大するゴミの量にもかかわらず、ゴミ処理技術が確立されておらず、人目につかない場所にオープンダンピングが繰り返され、水・土壤汚染、住民によるゴミ処理場反対運動、不法投棄等問題が深刻化し、近年環境保護政策が強化されつつある。特に、スマートシティのモデル県であるナコンナヨック県は、森と水に恵まれたカオヤイ国立公園の所在地でもあり、100万人観光都市を目指しているため、より環境に優しく先進的な廃棄物処理が求められている。又、本県でのスマートシティ計画の開始に際しては、処理施設の建設予算執行を含む適切な処理方法を提示する事がタイ政府より求められている。

本事業では、ナコンナヨック県内で排出される食品廃棄物を回収し、プラントにおいて固定床式小型高効率発酵槽でメタン発酵し、発生したメタンガスを精製後吸着剤入り小型貯蔵タンクに低圧大量貯蔵し、廃棄物収集車の燃料として使用する等一貫したシステムについて、ナコンナヨック県での適用可能性を検証する。これにより、タイにおける水・土壤汚染の低減、食品廃棄物の発酵後発生する消化液（液肥）利用による有機栽培促進、廃棄物エネルギーの多目的利用により持続可能で安全な社会形成を目指

す。更に、廃棄物処理コストの低減を含む経済性や、本システムのナコンナヨク県から他地域への普及のあり方についても併せて検討する事を目的とする。

又、タイ・エネルギー省及びナコンナヨク県は、本事業を通じてエネルギー政策や環境政策を見直し、バイオメタン関連技術の習得に留まらず、人民の幸福に繋がるサービスが提供できる役人の精神・政治教育も目的としている。本事業終了後は、日本と共同事業を開始し、ASEAN Economic Community (AEC) へのプロモーションと普及を目指している。

第3章 実施体制



第4章 実施スケジュール

	2013年					2014年	
	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月
バイオガスプラント・ANG燃料タンク設計・製造(日本)	←→						
プラント・ANG燃料タンク輸出(日本)			←→				
バイオガスプラントオペレーション等技術指導(日本)				←→			
データ収集(日本、タイ)					←→		
ガス分析(タイ)					←→		
ANG燃料タンク取付				←→			
ANG車走行試験(日本、タイ)					←→		
報告書作成(日本、タイ)							←→

第5章 事業の概要

第1節 バイオガスプラント、車載用 ANG 燃料タンク、家庭用 ANG ボンベの 設計・調達

(1) プラント設置のための現地調査

バイオメタンエネルギーシステム（以下、バイオガスプラントと記述）の設計、設置に先立ち、タイ・ナコンナヨク(Nakhon Nayok) 県のバイオガスプラント設置予定地の現地調査（平成25年9月、調査員：竹内、荒木）を行った。ナコンナヨク県はバンコクの北東に存在している（第1章地図参照）。



図 5-1 ナコンナヨク県庁



図 5-2 ナコンナヨク県知事（現 ICT 省事務次官）との打ち合わせ

同県県庁を訪れ、タイ・ナコンナヨク県知事（現 ICT 省事務次官）Dr. Surachi Srisaracam を訪問し、同県関係者同席のもと、本プロジェクトに関する県としての基本的考え及びプランを聴くと共に、日本側からはスマートシティ建設に向けた将来計画及びバイオガスプラント設置と設置後の実証試験内容を伝えた。その後、両国プランについて議論を行った。

会見終了後、県関係者と共にプラント設置予定地であるゴミ処理場の状況を調査した。



図 5-3 ナコンナヨク県風景



図 5-4 ゴミ処理場入り口付近

バイオガスプラント設置予定地であるナコンナヨク県所有のゴミ処理場は、県が選別したプラスチック系廃棄物の有効利用のために、民間業者に貸与し集積を行っている。

ナコンナヨク県におけるゴミの分別収集は全く実施されていない。そこで、県としては、選別されたプラスチック系廃棄物処理場の近隣にバイオガスプラントを設置する事でゴミの有効利用を進めたいとの希望がある。



図 5-5 プラスチック系廃棄物集積場(1)



図 5-6 プラスチック系廃棄物集積場(2)

しかしながら、下図に示すような集積されたプラスチック系廃棄物をリサイクル製品として再利用する設備の建設計画はあるものの、その実施は行われないままになっている。そのため、本プロジェクトにおけるバイオガスプラント設置候補地として、同処理場が選定された。



図 5-7 集積されたプラスチック系廃棄物

ゴミ集積場には、廃棄物配送用の道路が既に建設されており、周囲には排水用の水路が存在した。又、集積される廃棄物計量用の建屋が建設されており、計量機械も存在し、プラント設備運転を行う際、最も重要な電気及び水道関連設備は十分整っていた。又、メタン発酵用の原料も食品廃棄物供給により充分可能であった。更に、適切な排水設備を予め建設する事により、プラント運転時に発生し、肥料として利用し残された発酵残渣（消化液）の廃棄も可能であると思われた。



図 5-8 集積廃棄物計量用の建屋及び設備



図 5-9 廃棄物配送用道路



図 5-10 排水用水路

又、ナコンナヨク県知事アドバイザーKiattisak Kittitunwong 氏、Kitsana 氏、Jaroen On-Sawang 氏と共にタイの元副総理／元エネルギー大臣で現首相府アドバイザーの Dr. Prommin Lertsuridej を表敬訪問し、本プロジェクトの趣旨を説明し、実施にあたるタイ政府の援助を要請し、快諾を得た。

以上により、本候補地にプラント設置が可能と判断されたので、既に準備を始めていたバイオガスプラント、車載用 ANG 燃料タンク、家庭用 ANG ボンベの設計・調達を予定通り進める事とした。



図 5-11 タイ首相府



図 5-12 タイ首相府アドバイザーの表敬訪問

この様に、昨年 9 月の調査で、ナコンナヨク県所有のゴミ処理場がバイオガスプラント設置予定地としてふさわしいと結論されたが、その後のタイ及び同県の政治的事項の変化により他に候補地を選定する事を余儀なくされた。関係者により候補地を種々検討した結果、同県オンカラック (Ongkharak) 郡にあるシーナカリンウイロート大学オンカラック校 (Srinakharinwirot University Ongkharak) (地図参照) を設置予定地として新たに選定する事となったため、再度、現地調査 (平成 25 年 12 月、調

査員：竹内、荒木、関根）を行った。

シーナカリンウイロート大学オンカラック校はバンコクに本校を置く国立大学である。医学部、工学部、環境科学部、教育学部等からなる総合大学で、教育研究環境、大学食堂等の学生への福利厚生施設も整っていた。



図 5-13 シーナカリンウイロート大学(1)



図 5-14 シーナカリンウイロート大学(2)



図 5-15 シーナカリンウイロート大学土木工学科(1)



図 5-16 シーナカリンウイロート大学土木工学科(2)

大学側の設置準備責任者として任命された、同大学土木工学科 Setta Sasananan 教授とスタッフの案内のもと、上記県知事アドバイザー、県関係者と共に設置予定地である同大学構内の建屋の設置環境を調査した。



図 5-17 同大学構内の設置予定地



図 5-18 設置予定建屋内部(1)

プラント設置用建屋は改造して利用する事になっており、既に、水道設備の工事も進み、プラント設置場所の土台となるコンクリート工事も進行中であつた。又、建屋外部では排水処理設備（廃液処理タンク、排水路）の設置も準備中であつた。

調査の結果、新しい設置候補地は大学構内にあつて周辺には廃棄物配送用の道路が既にあり、建屋内でのプラント設備運転用の電気及び水道関連設備も十分整っていると判断された。又、適切な排水設備を既に建設中であり、プラント運転時に発生し、肥料として利用し残された発酵残渣（消化液）の廃棄も可能である。更に、2千名以上が寄宿する学生寮付属の大規模な学生食堂が隣接しており、本食堂から日常的にメタン発酵原料として食品廃棄物を入手可能である事もわかつた。

以上により、本候補地にプラント設置が可能と判断されたので、既に輸出済みのバイオガスプラントを設置する事とした。



図 5-19 設置予定建屋内部(2)



図 5-20 設置予定建屋内部(3)



図 5-21 排水処理設備（廢液處理タンク）



図 5-22 排水処理設備（排水路）（1）



図 5-23 排水処理設備（排水路）（2）

(2) ノンヌット公園バイオガスプラントのメタン菌調査

その後、パタヤ(Pattaya)にあるノンヌット公園(Nong Nooch Tropical Botanical Garden)がメタン菌の提供を申し出てくれたので、同公園内にあるバイオガスプラントのメタン菌の生育状況を調査した結果、本システムのメタン発酵種菌として充分利用可能である事が分かった。

ノンヌット公園は総合エンターテインメントパークで、入場者の公園食堂における食事の廃棄物からメタン発酵を行い、発生するバイオガスを配管で食堂厨房に導き、調理用エネルギーとして活用している。



図 5-24 ノンヌット公園(1)



図 5-25 ノンヌット公園(2)



図 5-26 ノンヌット公園バイオガスプラント(1)



図 5-27 ノンヌット公園バイオガスプラント(2)



図 5-28 ノンヌット公園バイオガスプラント(3)



図 5-29 バイオガスプラントのガス配管
-公園食堂の厨房に繋がっている-

(3) バイオガスプラントの設計・調達

1) バイオメタンエネルギーシステムの概要

本プロジェクトでは、名古屋大学で開発され、3年半運転している分散型メタン発酵システムを用いたラボスケールプラント（固定床式高効率メタン発酵装置、10 kg/日処理用、1 kg/日原料供給でバイオガス発生量240 L/日）の規模を拡大したパイロットスケールのプラント（600 kg/日処理用、100 kg/日原料供給でバイオガス発生量24 m³/日）を設置する事になっていた。

本システムの有効利用により、ナコンナヨク県の未利用食品廃棄物60 t/日について効率的なバイオガス転換が実現可能である。

名古屋大学で開発中の高効率 ANG メタン貯蔵装置の導入により、バイオメタンを低い圧力（～1 MPa）で大量に貯蔵でき、余剰ガスを自動車燃料、都市ガス代替としても利用できる。これにより、同県におけるバイオガス製造が経済性向上に大きな効果をもたらすと予想された。

メタン発酵装置（バイオガス発生装置）は、嫌気性細菌の働きにより有機物からバイオガスを安全かつ効率良く回収する事を目的とした設備である。発酵温度、槽内構造、攪拌方法等の様々な選択肢がある事から、運転の安定性、経済性、信頼性等を考慮し、処理目的及び対象原料に適した方式を選定する必要がある。

又、東日本大震災のような災害時には、電力、ガス、輸送用燃料等のエネルギー供給が絶たれる事を考慮すると、原料となる資源が入手しやすく、枯渇の心配が少ない地域単位の小規模分散型のバイオガス発生装置の開発も求められる。

名古屋大学で開発された、地域で発生する食品残渣等の含水バイオマスを原料とするバイオガス発生装置に、ガス精製装置と低圧ガス貯蔵槽を組み合わせた分散型バ

イオメタンエネルギーシステム、はメタンガスの利用比率を変える事で、需要に応じて電力、燃料の供給を柔軟に変える事が出来る特徴がある。

本システムでは、原料として、食品廃棄物（現在は、名古屋大学内の食堂から出る廃棄物を利用）を水と混合して用いている。

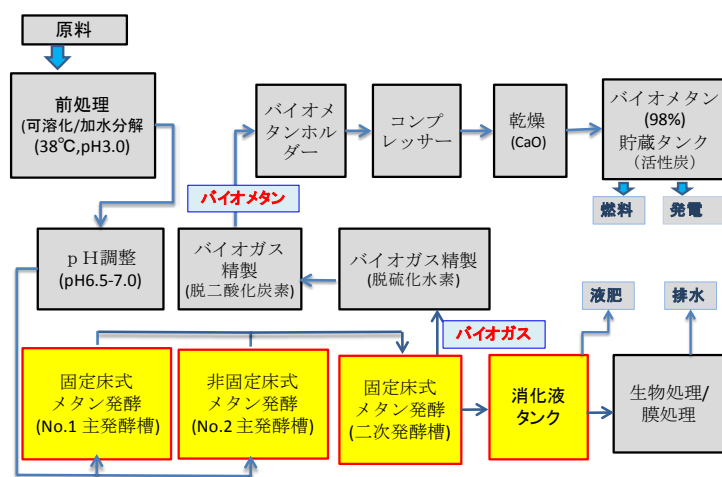


図 5-30 システムの構成と処理フロー

まず、メタン発酵の前処理として、原料である食品廃棄物を粉砕し、可溶化（加水分解）処理を行う。粉砕された食品残渣は可溶化槽に投入される。投入された食品残渣は、約2日間、約37℃で加温、ミキサーで攪拌する事により可溶化、加水分解される。可溶化・加水分解後、廃棄物中の有機物は酸生成菌によって揮発性脂肪酸（酢酸、ギ酸等）を生成する。混合物（以後、基質と呼ぶ）を含む槽内のpHは有機酸生成に伴って、3.0～3.5まで下がる。

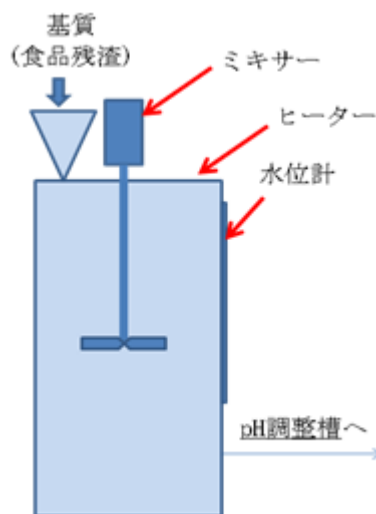


図 5-31 可溶化槽の概念図

メタン発酵に用いるメタン菌の最適 pH 範囲は6.5～7.5であり、この範囲外では死滅又は失活)するため、発酵槽に移送する前に、pH 調整槽で pH を調整する必要がある。pH 調整槽では水酸化ナトリウム(NaOH)を添加し、常時 pH の調整を行う。

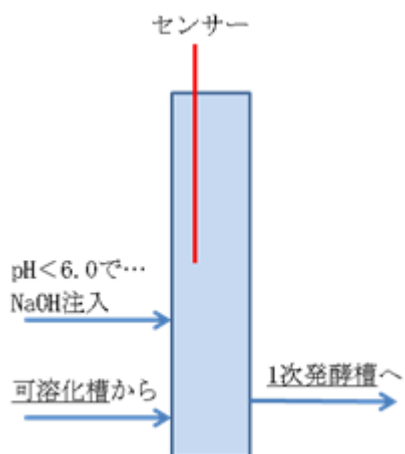


図 5-32 pH 調整槽の概念図

前処理をした基質はメタン発酵槽に供給され、バイオガスを生成する。発酵方式には、タンク内にスポンジ状の担体が充填した固定床式を用いている。これによりメタン菌を高濃度に保つ事ができ、次式に示すようにバイオガスの発生量が増大する。この技術については、既に特許を取得している。

$$\frac{d[\text{biogas}]}{dt} = A[\text{bacteria}][\text{substrate}] \exp\left(-\frac{7000}{T}\right)$$

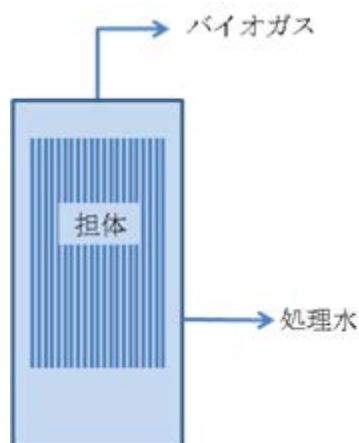
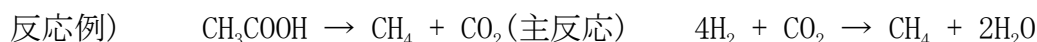


図 5-33 pH 調整槽の概念図

発酵槽（図 1. 6）は二槽式で、第 1 槽は攪拌によって発酵がより促進される。発酵でバイオガスの 90%以上は、第 1 槽で生成する。第 2 槽（2 次発酵槽）は、主に第 1 槽からオーバーフローするメタン菌の系外への流出を防ぐ働きをしている。発

酵槽内では、可溶化槽で生成した有機酸(酢酸、ギ酸、プロピオン酸等)が嫌気性のバクテリアによりメタンと二酸化炭素に分解される。



本システムで用いている固定床式メタン発酵法は、有機酸からメタンへの変換がわずか2日間で完了し、通常の非固定床式発酵槽では7日間要するのに比べて、極めて高効率である。

発酵で生じるガスはバイオガスと呼ばれ、概略メタン60～70%、二酸化炭素30～40%の組成となっており、高濃度(200ppm～200ppm程度)の硫化水素も含んでいるため、燃料としての熱量価を高めるためには、二酸化炭素を除去してメタン濃度を高くする必要がある。又、硫化水素は人体への影響と共に、燃焼時に腐食性のガスを発生するため除去が必要となる。

本システムでは、バイオガスを塩化第二鉄水溶液及び水酸化ナトリウム水溶液を入れた一連の精製槽に通す事で、それぞれ、硫化水素、二酸化炭素が除去され、バイオガスはバイオメタン(メタン濃度95%、硫化水素2ppm以下)に精製される。精製用の水酸化ナトリウム水溶液は二酸化炭素を吸収する事によって徐々に炭酸ナトリウムに変化していき、pHが中性に向かって下がっていく。pHが下がると二酸化炭素の除去能力が落ちるので、定期的に水溶液を交換する必要がある。

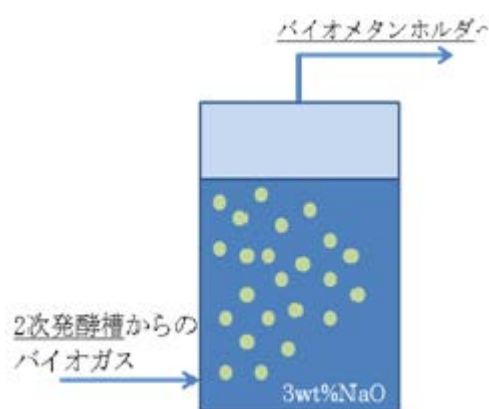


図 5-34 バイオガス精製槽の概念図

バイオメタンは水への溶解度が低い事から、水封式のガスタンク(ガスホルダー)に効率的に貯蔵する事ができる。タンク槽の上下によってガス保持可能体積が変化する事から、タンク槽内の圧力は一定に保持する事が可能である。ガスが一定量以上貯蔵されると、タンク蓋上部のセンサーにより、コンプレッサーが稼働してタンク内の精製バイオメタンは乾燥タンクへ移送される。

バイオメタンホルダーより移送されたバイオメタンは微量の水分を含んでいるため、酸化カルシウムを用いて精製バイオメタンの乾燥を行う。乾燥槽の水分除去剤としては、石灰石と酸化カルシウム(CaO)を用いる。

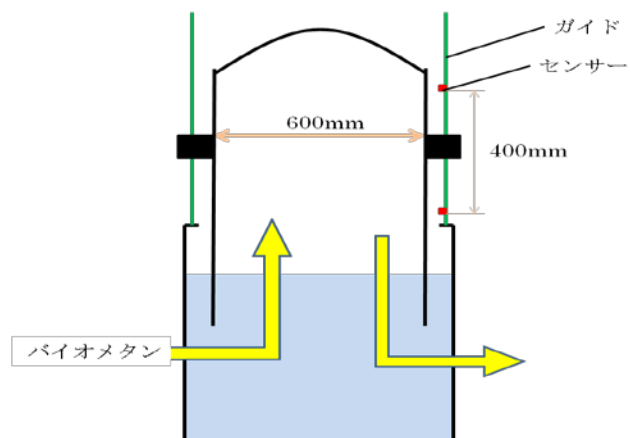


図 5-35 ガスホルダーの概念図

この際、バイオメタンが槽内の酸化カルシウム層を通過する事によって水分と共に、残留する二酸化炭素も除去され、メタン純度は 98%まで向上する。

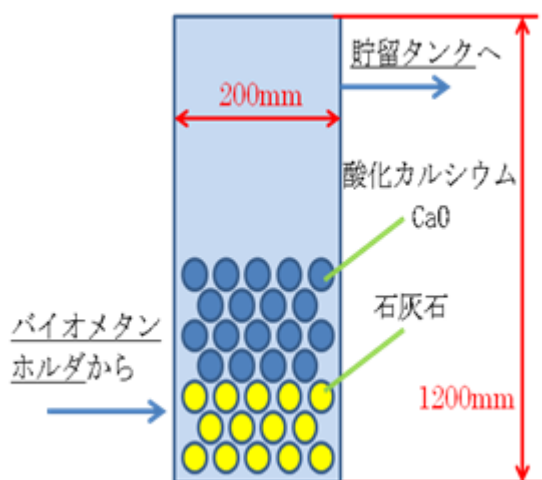


図 5-36 乾燥槽の概念図

乾燥された精製バイオメタンは最終的に貯蔵タンクに貯蔵される。貯蔵タンク内には活性炭が充填されており、バイオメタンをこの活性炭に吸着させて貯留する方式であるため、ANG(Adsorbed Natural Gas)貯蔵タンクと呼ばれる。

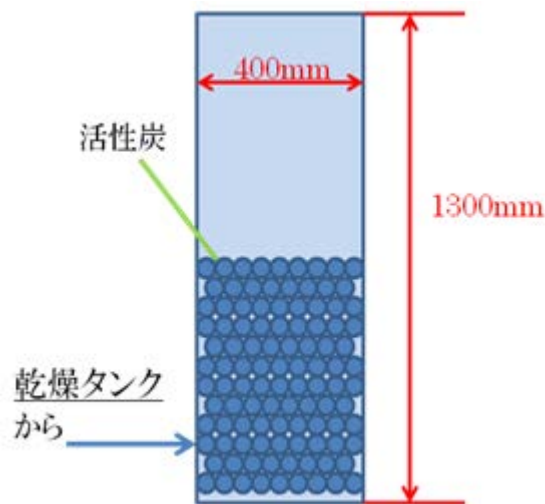


図 5-37 ANG 貯蔵タンク の概念図

活性炭は細孔構造による非常に大きな表面積（比表面積 $1000 \sim 2000 \text{ m}^2/\text{g}$ ）を持つため、活性炭に吸着させる事で単位体積あたりのガス貯蔵量を増加させる事ができ、低圧でも多量のバイオメタンを貯蔵する事が可能となる。本システムの場合、 1 MPa で 1 g の活性炭当たり 90 cm^3 のバイオメタンが貯蔵可能で、 30 kg の活性炭をタンクに充填（体積 0.06 m^3 相当）すると、 1 MPa で 3.0 m^3 のメタンガス（活性炭体積の 50 倍に相当）が貯蔵可能である。

投入する食品廃棄物中の含水率、化学成分組成やその分解率等から推定される 1 日（食品廃棄物 1 kg ）当たりのバイオガス、バイオメタンの発生量に比べて、固定床式発酵法を用いる本システムにおけるバイオガス発生量（実測値）は 1 日当たりで、推定値の 2 倍以上となり、バイオメタン発生率が非常に高効率であるといえる。この理由として、担体充填による発酵槽内メタン菌の高密度担持と、原料の適切な前処理（効率的な加水分解）があげられる。

発酵の段階で分解しきれない残渣は消化液として消化液貯蔵タンクに排出される。消化液は液肥としての利用が可能であるので、本プロジェクトでは、ナコンナヨク県所有の食物有機栽培試験場 (Khundanland Organic Farm Learning Center) で消化液の散布試験を行った。又、水処理により消化液中の COD_{Cr} 、 BOD を除去すれば、下水として放流する事もできる。

現在、ナコンナヨクでは食品廃棄物は年間 $6 \text{ t/日} \times 365 \text{ 日}$ t 排出され、焼却、埋立処分されている。このように現在利用されずに処分されている廃棄物は非常に大きな利用価値を有している。本エネルギーシステムは、発展途上国のみならず、先進国都市部にも導入が可能であるし、被災地等ガスや電力が不足している場合にも有効な技術であると言える。又、タイ国内で豊富に存在する農産廃棄物（稲わら、籾殻）等の固形廃棄物を用いる場合も、適切な前処理を行えば、メタン発酵可能で

ある。

メタン発酵に関わる微生物群を高濃度に保持し、処理の安定性を図るため、固定床式メタン発酵法が有効である。担体充填によって槽内に高密度のバクテリアを担持し、高効率にメタン発酵できる固定床式発酵槽を用いた技術を紹介する。固定床式発酵法の発酵槽内部にはプラスチックスポンジや炭素繊維等の担体が充填されている。嫌気性バクテリアを担体に付着させて槽内の濃度を高める。この高濃度のバクテリアは、基質の加水分解で生成した有機酸(酢酸、ギ酸、プロピオン酸等)を高効率にメタンに分解する効果をもたらす。

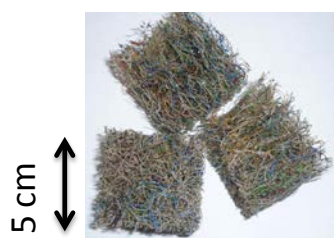


図 5-38 担体 (塩化ポリビニリデン製スポンジ：密度 0.04 g/cm³)
ー主発酵槽と二次発酵槽に充填、高濃度メタン菌を固定ー

(4)プラント各ユニットの製造、調達 (写真、設計図)

本プラントは、29種類の構成ユニットからなっている。

上記のプラント基本ユニット (クラッシャー/ミートチョッパー、可溶化槽、1次発酵槽、2次発酵槽、pH調整槽、第1精製槽、第2精製槽、乾燥塔及びバイオメタン貯蔵タンク) 以外に、メタン移送用防爆型コンプレッサー、攪拌機 (2種類)、ポンプ (4種類：消化液送液用、調整済み原料送液用チューブポンプ、発酵槽攪拌用、pH調整溶液送液用ケミカルポンプ)、タンク (2種類：800L消化液貯蔵用、精製溶液調製用)、メタン警報器、100L 自動車燃料タンク (タンク本体、タンクカバー、仕切り板)、燃焼試験用ボンベ (2種類：117L大型ボンベ、24L小型ボンベ)、高圧用接続ホース及び貯蔵タンク充填用活性炭である。

1) プラント基本ユニット

基本ユニットは、関根産業が設計し、前島工業所が製造した。各ユニットの設計図及び写真を以下に示す。設計思想としては、タイへの輸送、大学構内での設置及び配管接続が安全で容易に行えるように、名古屋大学で運転中のプラントを構成するユニットを大きく3つのブロックに分け、それぞれのブロックを鋼鉄製のパネル上に固定し、これらのパネルをコンクリート製土台にコンパクトに設置する方法を取り入れる事とした。設置場所のスペースの関係で、最終的には3パネルを直列的に配列する事とした。粉碎した原料のスラリー攪拌槽は、これらのパネル以前に設置されている。高強度プラスチック製立方体で、中央にスラリー攪拌用の羽根及びモーター、右端に攪

拌後にスラリーを可溶化槽に送液するポンプが設置されている。

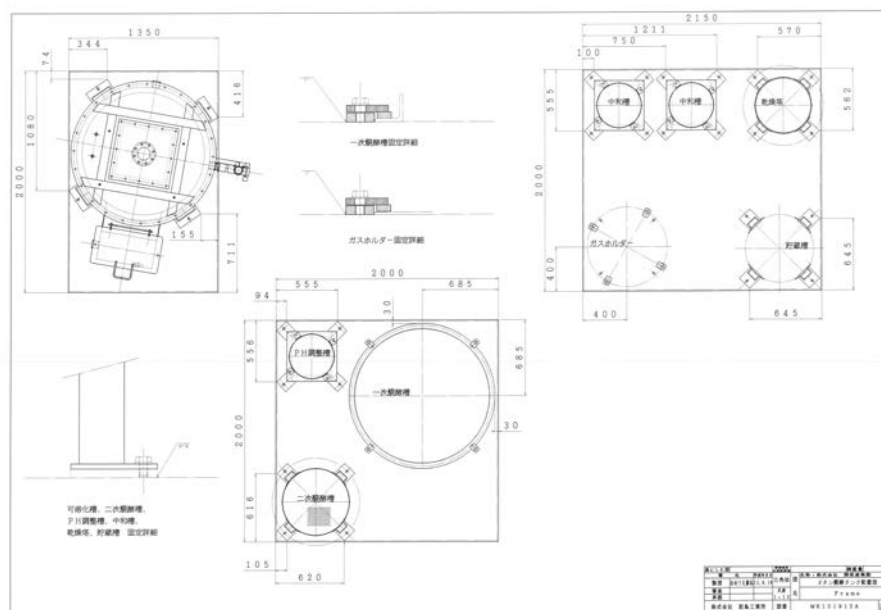


図 5-39 基本ユニットパネルの配列平面図

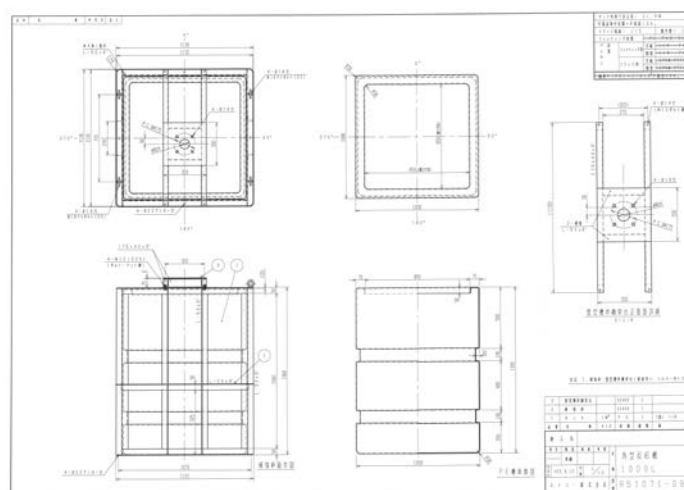


図 5-40 攪拌槽の設計図

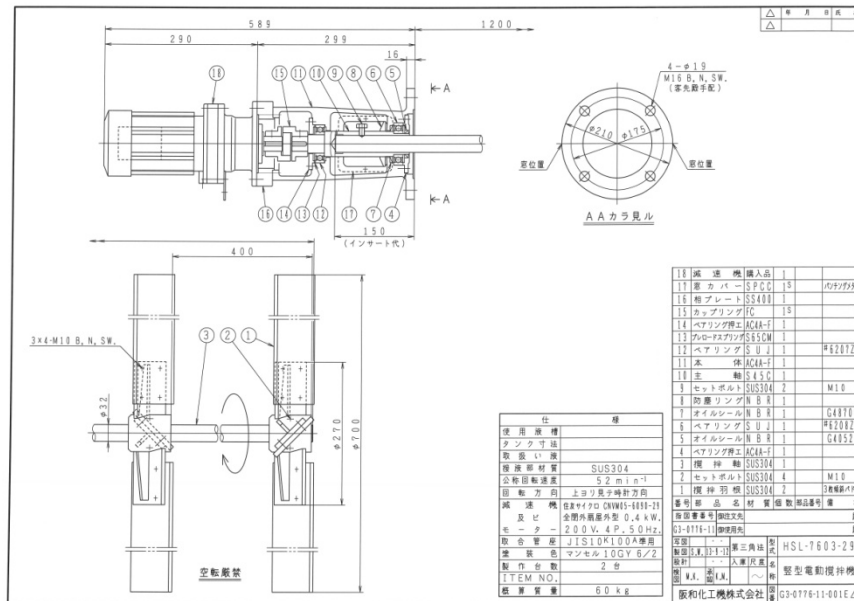


図 5-41 攪拌槽内モーターおよび攪拌羽根の設計図



図 5-42 攪拌槽内モーターの設置状況



図 5-49 pH 調整槽の完成写真



図 5-50 ケミカルポンプ

pH 調整槽中で中和された試料は、調整槽下部に設置されている定量ポンプ（ペリスタポンプ）により毎分一定量ずつ接続ホースを通じて第 1 発酵槽に送液されている。ポンプによる送液は可溶化槽ポンプと連動しており、調整槽内の液量は常に一定に保たれる。試料の主成分は、揮発性有機酸、特に酢酸が主成分である。

pH 調整された試料は発酵槽で、35～37℃、2 日間メタン発酵されて、主成分の

酢酸はメタンと二酸化炭素を主成分とするガス（バイオガス：メタン60～70%、二酸化炭素30～40%）に分解される。生成するバイオガスには、これらの成分以外に高濃度（200～2000ppm程度）の硫化水素が含まれている。

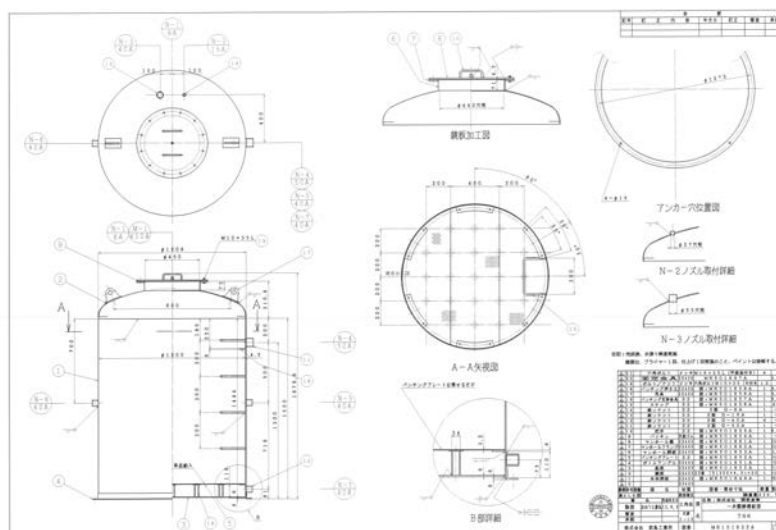


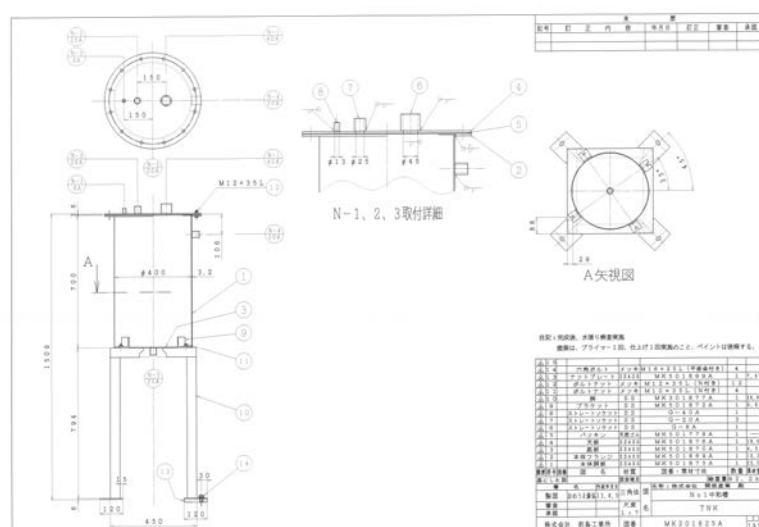
図 5-51 発酵槽の設計図



図 5-52 第1発酵槽の完成写真

本システムは2連のメタン発酵槽（第1発酵槽及び第2発酵槽）からなっており、共

バイオガスをより安全で高カロリーのガスに精製するため、精製槽で硫化水素と二酸化炭素を除去する。精製槽は2連のタンクを直列に接続し、第1精製槽では、10%塩化第二鉄水溶液の中をガス流通させる事で硫化水素を除去する。第2精製槽では、20%水酸化ナトリウム水溶液により二酸化炭素を除去する。精製操作により、硫化水素は2 ppm 以下、二酸化炭素は5%以下となり、純度95%のガス（以下、バイオメタンと呼ぶ）が得られる。



A photograph showing two large, white, cylindrical industrial tanks. The tank on the left is labeled 'No1. Cleaning Tank' and the one on the right is labeled 'No2 Cleaning Tank'. Both tanks have various pipes and valves on top. A green flexible hose is connected to the tanks, running from the right tank to the left tank. The background shows a chain-link fence and some foliage.

34

Technical drawing of a vertical cylindrical vessel with a hemispherical head. The drawing includes a front view, a top view, and a side view. Key dimensions and labels include:

- Front View:** Shows the vessel's profile with a hemispherical head. Dimensions include a total height of 1000, a head height of 150, and a body diameter of 1000. Labels include "N-1 1/2", "N-2 1/2", "N-3 1/2", "N-4 1/2", "N-5 1/2", "N-6 1/2", "N-7 1/2", "N-8 1/2", "N-9 1/2", "N-10 1/2", "N-11 1/2", "N-12 1/2", "N-13 1/2", "N-14 1/2", "N-15 1/2", "N-16 1/2", "N-17 1/2", "N-18 1/2", "N-19 1/2", "N-20 1/2", "N-21 1/2", "N-22 1/2", "N-23 1/2", "N-24 1/2", "N-25 1/2", "N-26 1/2", "N-27 1/2", "N-28 1/2", "N-29 1/2", "N-30 1/2", "N-31 1/2", "N-32 1/2", "N-33 1/2", "N-34 1/2", "N-35 1/2", "N-36 1/2", "N-37 1/2", "N-38 1/2", "N-39 1/2", "N-40 1/2", "N-41 1/2", "N-42 1/2", "N-43 1/2", "N-44 1/2", "N-45 1/2", "N-46 1/2", "N-47 1/2", "N-48 1/2", "N-49 1/2", "N-50 1/2", "N-51 1/2", "N-52 1/2", "N-53 1/2", "N-54 1/2", "N-55 1/2", "N-56 1/2", "N-57 1/2", "N-58 1/2", "N-59 1/2", "N-60 1/2", "N-61 1/2", "N-62 1/2", "N-63 1/2", "N-64 1/2", "N-65 1/2", "N-66 1/2", "N-67 1/2", "N-68 1/2", "N-69 1/2", "N-70 1/2", "N-71 1/2", "N-72 1/2", "N-73 1/2", "N-74 1/2", "N-75 1/2", "N-76 1/2", "N-77 1/2", "N-78 1/2", "N-79 1/2", "N-80 1/2", "N-81 1/2", "N-82 1/2", "N-83 1/2", "N-84 1/2", "N-85 1/2", "N-86 1/2", "N-87 1/2", "N-88 1/2", "N-89 1/2", "N-90 1/2", "N-91 1/2", "N-92 1/2", "N-93 1/2", "N-94 1/2", "N-95 1/2", "N-96 1/2", "N-97 1/2", "N-98 1/2", "N-99 1/2", "N-100 1/2".
- Top View:** Shows the circular base of the vessel with a diameter of 1000. It includes a central vertical line and a horizontal line passing through the center.
- Side View:** Shows the vessel's profile from the side, highlighting the hemispherical head and the cylindrical body. It includes a vertical line and a horizontal line passing through the center.
- Labels:** Various labels are present, including "N-1 1/2", "N-2 1/2", "N-3 1/2", "N-4 1/2", "N-5 1/2", "N-6 1/2", "N-7 1/2", "N-8 1/2", "N-9 1/2", "N-10 1/2", "N-11 1/2", "N-12 1/2", "N-13 1/2", "N-14 1/2", "N-15 1/2", "N-16 1/2", "N-17 1/2", "N-18 1/2", "N-19 1/2", "N-20 1/2", "N-21 1/2", "N-22 1/2", "N-23 1/2", "N-24 1/2", "N-25 1/2", "N-26 1/2", "N-27 1/2", "N-28 1/2", "N-29 1/2", "N-30 1/2", "N-31 1/2", "N-32 1/2", "N-33 1/2", "N-34 1/2", "N-35 1/2", "N-36 1/2", "N-37 1/2", "N-38 1/2", "N-39 1/2", "N-40 1/2", "N-41 1/2", "N-42 1/2", "N-43 1/2", "N-44 1/2", "N-45 1/2", "N-46 1/2", "N-47 1/2", "N-48 1/2", "N-49 1/2", "N-50 1/2", "N-51 1/2", "N-52 1/2", "N-53 1/2", "N-54 1/2", "N-55 1/2", "N-56 1/2", "N-57 1/2", "N-58 1/2", "N-59 1/2", "N-60 1/2", "N-61 1/2", "N-62 1/2", "N-63 1/2", "N-64 1/2", "N-65 1/2", "N-66 1/2", "N-67 1/2", "N-68 1/2", "N-69 1/2", "N-70 1/2", "N-71 1/2", "N-72 1/2", "N-73 1/2", "N-74 1/2", "N-75 1/2", "N-76 1/2", "N-77 1/2", "N-78 1/2", "N-79 1/2", "N-80 1/2", "N-81 1/2", "N-82 1/2", "N-83 1/2", "N-84 1/2", "N-85 1/2", "N-86 1/2", "N-87 1/2", "N-88 1/2", "N-89 1/2", "N-90 1/2", "N-91 1/2", "N-92 1/2", "N-93 1/2", "N-94 1/2", "N-95 1/2", "N-96 1/2", "N-97 1/2", "N-98 1/2", "N-99 1/2", "N-100 1/2".

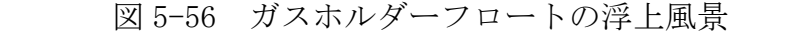


Fig. 1

Technical drawing of a vertical pressure vessel (Fig. 1). The drawing includes a top view (A-A view) showing a circular cross-section with a diameter of 1000 mm and a thickness of 10 mm. The main view is a longitudinal section showing the internal structure, including a central vertical pipe with a diameter of 100 mm and a height of 1000 mm. The vessel has a hemispherical head and a flange at the bottom. Various dimensions and part numbers are indicated throughout the drawing.



(5)プラントの完成状況

図 5-43 に設置、結線、ホース接続したプラントの全体図（完成図）を示した。



図 5-59 完成（設置、結線、ホース接続）したプラントの全体図

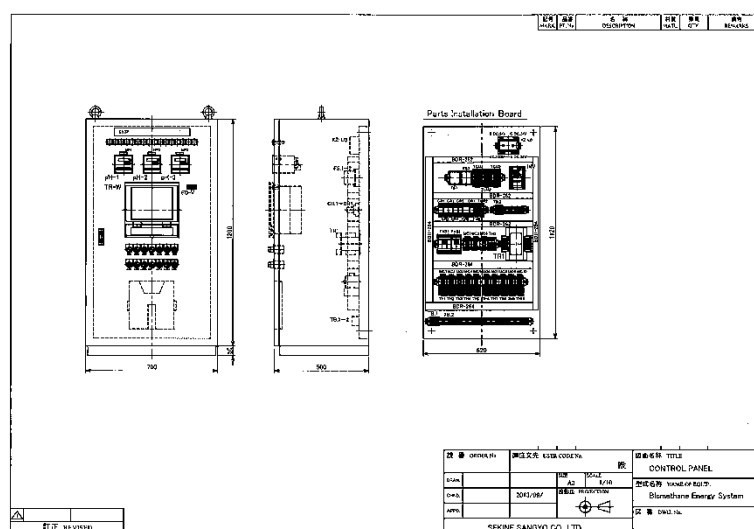


図 5-60 コントロールパネルの配線図

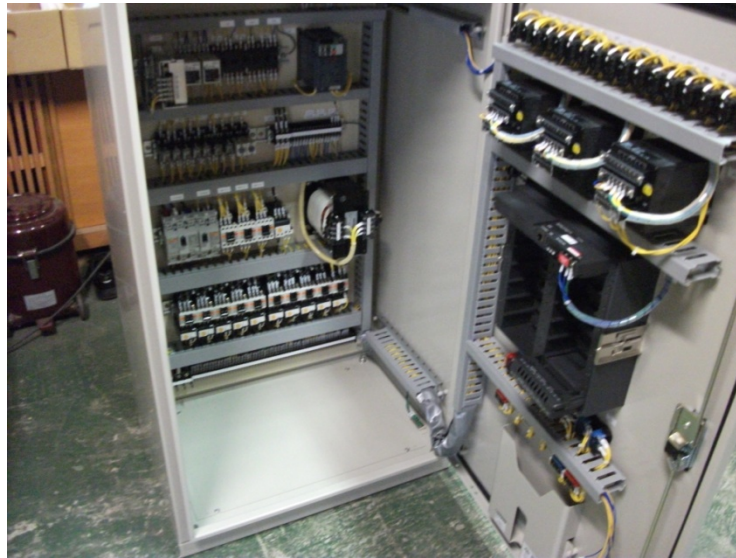


図 5-61 コントロールパネルの調整状況

Part list											
MARK	NOMENCLATURE	MODEL RATING	UNITS	MAKER	REMARKS	MARK	NOMENCLATURE	MODEL RATING	UNITS	MAKER	REMARKS
FAB1	Miniature Circuit Breaker	AN500	1	PLJ E		T01	Terminal Block	BN50W 3P	1Part	Min.	
FAB2	Miniature Circuit Breaker	AN500	1	PLJ E		T02	Terminal Block	BN-30W 6P	1Part	Min.	
MG1	Magnetic Motor Contactors	MG1-LPW 12-14kW AC100V	1	PLJ E		T03	Terminal Block	BN50W 3P 2N15MW 4P	1Part	Min.	
MG2-4	Magnetic Motor Contactors	MG2-LPW 12-14kW AC100V	2	PLJ E							
MG2-5	Magnetic Motor Contactors	MG2-LPW 12-14kW AC100V	2	PLJ E							
MG2-9-9	Magnetic Motor Contactors	MG2-LPW 12-14kW AC100V	2	PLJ E							
MG7	Magnetic Motor Contactors	MG2-LPW 12-14kW AC100V	1	PLJ E							
MG10	Magnetic Motor Contactors	MG2-LPW 12-14kW AC100V	1	PLJ E							
MG1-3	Magnetic Motor Contactors	MG2-LPW 12-14kW AC100V	3	PLJ E							
T00	Thermistor Relay	TR-001 14kW 12-2.5A	1	PLJ E							
NL1	Indicator Light	DS2073M40W AC100V LED	1	PLJ E							
OL1-12	Indicator Light	DS2073M40W AC100V LED	12	PLJ E							
OL1-2	Indicator Light	DS2073M40W AC100V LED	2	PLJ E							
SL-1-1-1-1	Selector Switch	AM22PR-111B (1x1)	3	PLJ E							
SL-1-1-1-1	Selector Switch	AM22PR-111B (1x1)	3	PLJ E							
PR1-3	Power Relay	H162P-L AC100V	3	PLJ E							
PR1	Power Relay	H162P-L AC100V	1	PLJ E							
	Relay Socket	TPBKT	8	PLJ E							
PR5	Power Relay	TPBKT-L AC100V	1	PLJ E							
	Relay Socket	TPBKT	1	PLJ E							
TMR1	On Delay Timer	STTP-2 AC100V Max 10s	2	PLJ E							
TMR1	On Delay Timer	STTP-2 AC100V Max 10s	2	PLJ E							
	Timer Socket	TPBKT	2	PLJ E							
TR1	Thermistor	FE21-LK 1.5kVA	1	PLJ E							
FS1-1-1	Level Sensor	61F-QP-H8 AC100V	2	OHREN							
	Sensor	PPUSA	2	OHREN							
TCU1-1-1	Temperature Controller	PTP10451-0000 AC100-240V	3	PLJ E							
	Controller	TPBKT	3	PLJ E							
INV	Inverters	SDM600E-2U 6.4kW	1	PLJ E							
BOX	Cabinet	E30-7-2A color 2Y/1	1	NETTO							

図 5-62 配線部品表

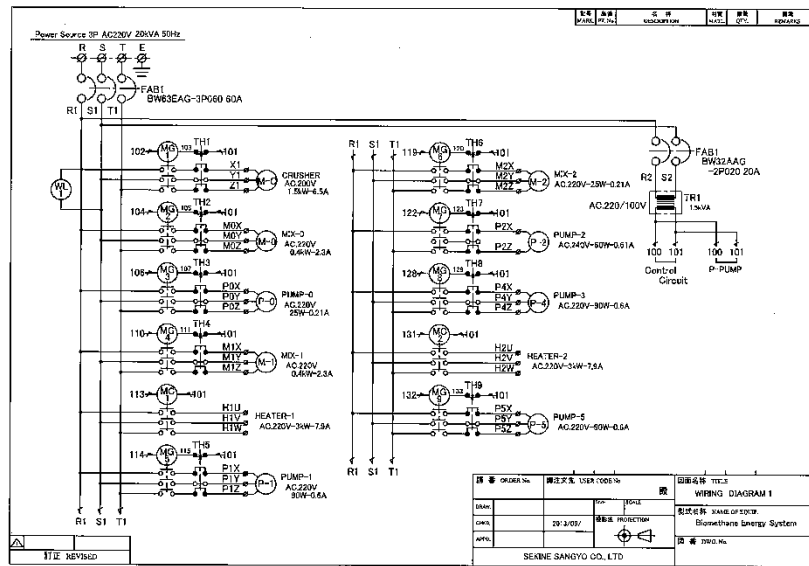


図 5-63 配線図(1)

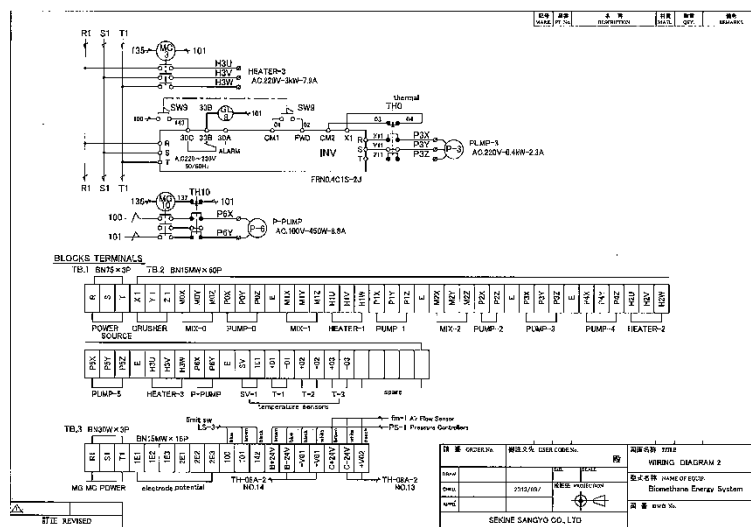


図 5-64 配線図(2)

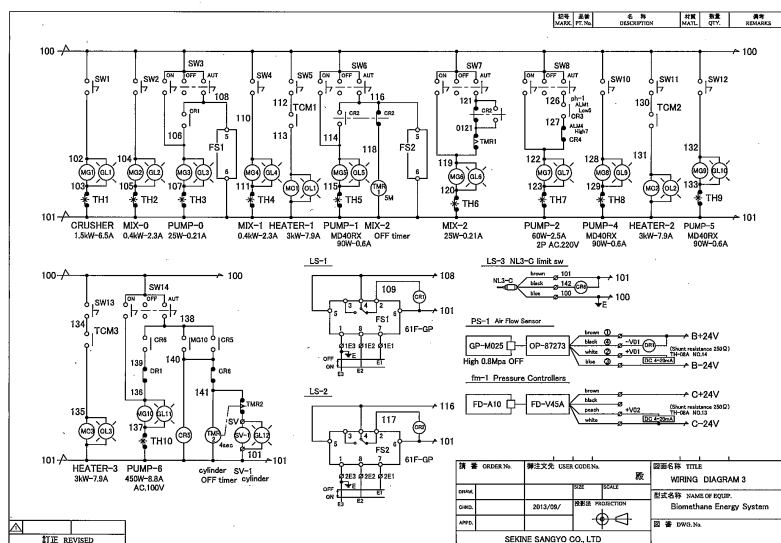


図 5-65 配線図(3)

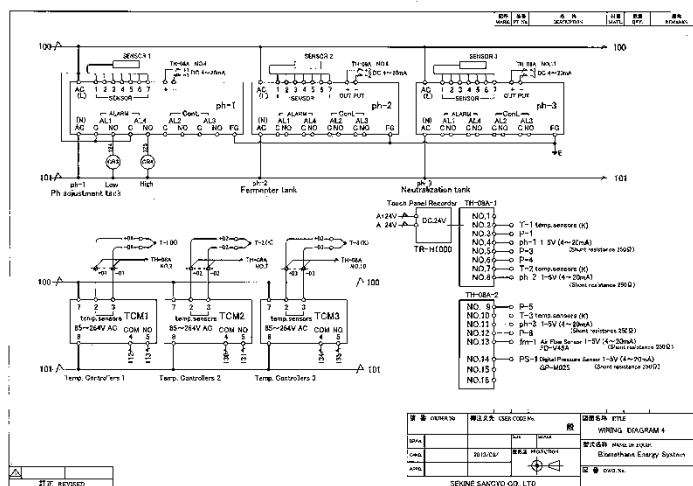


図 5-66 配線図(3)

表 5-1 ユニットの仕様リスト

	Equipment	Maker	Specification				
1	Meat Chopper	Hirai Company	TCA-22	200V	1.5kw		77kg
2	Mixing tank	Suiko	角型反応槽1000L				145kg
3	Mixer-0	Hanwa	HSL-750	220V	0.4kw	100A10kf	52kg
4	Feeding Pump	Shin-Meiwa	CR501	220V	0.25kw		6.8kg
5	Solubilization Tank	Maejima					
6	Mixer-1	Hanwa	HSL-750	220V	0.4kw	100A10kf	52kg
7	Temperature Sensor	Chino				R1/2	
8	Heater	OM Heater			1080W		
9	Feeding Pump	Iwaki	MD-40RX	220V	90W	40A	
10	Level Sensor	Omron	PS-31			PE1/2	
11	pH Adjustment Tank						
12	Mixer-2	Kansai Kikai	KM-2515	220V	25W	65A5kf	4kg
13	pH Adjustment Tank	Fuji Kagaku	1112GCB				
14	pH Controller	Fuji Kagaku	FDI-70P	85-265V			
15	Chemical Pump Tank	Takumina	PTS-30				
16	Chemical Pump	Takumina	PW-60-VTCE-HWJ	100-240V	20W	R1/2	
17	Level Sensor	Omron	PS-31			PE1/2	
18	Peristaltic Pump	Kawa Kikai	KB-19			PT3/4	
19	Primary Fermentation Tank	Maejima					
20	Circulation Pump	Iwaki	MD-40RX	220V	90W	40A	
21	Temperature Sensor	Chino				R1/2	
22	pH Sensor	Fuji Kagaku	1112GCB				
23	pH Controller	Fuji Kagaku	FDI-70P	85-265V			
24	Heater	OM Heater			2275W		
25	Secondary Fermentation Tank	Maejima					
26	Circulation Pump	Iwaki	MD-40RX	220V	90W	40A	
27	Temperature Sensor	Chino				R1/2	
28	Heater	OM Heater			1895W		
29	Gas Holder	Maejima					
30	Limit Switch	Omron					
31	Purification Tank 1	Maejima					
32	pH Sensor	Fuji Kagaku	1112GCB				
33	pH Controller	Fuji Kagaku	FDI-70P	85-265V			
34	Purification Tank 2	Maejima					
35	Puresurization Pump	Anest Iwata	FIT 13093B	100V	450W	RC1/4	
36	Drying Tower	Maejima					
37	Flow Mter	Keyence	FD-A10,FD-V45A	DC10-24V		RC1/4	
38	Methane Strage Tank	Maejima					
39	Puressure Sensor	Keyence	GP-M025,OP-87273	DC10-30V		RC1/2	
40	Paper Recorder	Keyence	TR-W500,TR-TH08A	DC24V			
41	Base	Maejima					
42	Control Box						

(6) 輸入準備過程の記述

1) 該非判定書の作成

本システムをタイに輸出するに当たり、名古屋大学産学官連携推進本部（安全保障輸出管理スーパーバイザー：寺内恒雄氏）に依頼して、各ユニットの該非判定書を作成し、外務省に判定を申請した結果、バイオメタンエネルギーシステムとしては、輸出令別表第一の1～15項のいずれにも規制対象となる品目はない（対象外）と判定された。

上記の装置の主要な構成機器についての該非判定のポイント及び該非判定結果を表1に記載する。構成機器は、主に輸出貿易管理令別表第一の3項（2）「軍用化学製剤製造装置」に関連するが、内容物と接触する部分等が規制される材質ではない等の理由により、いずれの機器も、輸出令別表第一の1～15項に「非該当」である事が判明した。

表 5-2 輸出貿易管理令別表第一の 1～15 項に基づく該非判定書

名称	バイオメタンエネルギーシステム	
型名等	<p>(JOB NO.)</p> <p>(メーカー名：株式会社関根産業及び名古屋大学)</p> <p>注) 名古屋大学が実証研究・基本設計しているため、名古屋大学が該非判定いたします。</p>	
貨物又は技術の概要・仕様等	<p>対象貨物は、含有バイオマス廃棄物（食品残滓等）から固定床式のメタン発酵槽でメタンガスを製造する装置です。生成したバイオメタン及びバイオガスは、自動車燃料や発電等へ利用し環境リサイクルを実現します。</p> <p>装置の主要構成品は、①ミートチョッパー、②試験原材料を混合しスラリーに調整する攪拌タンク（攪拌機付）、③可溶液槽（攪拌機付）、④PH調整槽（攪拌機付）、⑤発酵槽、⑥中和槽、⑦ガスホルダー、⑧乾燥塔、⑨貯蔵タンク、⑩浄化槽（Water Tank）、⑪流体搬送用のポンプ、⑫御装置（操作制御盤）及び⑬その他、貯蔵タンク及び附属機器・附属品で構成されます。（詳細は図 1～4 [頁 4 及び 5] を参照ください）その他、配管部材（弁等）等が使用していますが、装置には分離しがたい状態であるか若しくは主要な要素とはなっていません。各構成品の材質（内容物と折衝する部分）は、主に SS 材です。なお一部のバイオメタン貯蔵タンク（自動車用燃料実証試験用のタンク等）には SUS304 を使用しています。</p> <p>なお、本装置は、平成 25 年度貿易投資促進事業（経済産業者：実証事業・一般案件）により実証研究を行うための装置であり、輸出先（タイ国）において、実用化のための各種基礎データ等収集する事を目的としています。</p>	
判定結果 (1～15 項)	<p><貨物／技術></p> <p><input type="checkbox"/> 該当</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> 非該当</p>	<p>該当項番</p> <p>輸出令別表第一／外為令別表の 項 ()</p> <p>(貨物等省令 第 条)</p>

	<input type="checkbox"/> 対象外	
判定理由 (対比表等)	<p>バイオメタンエネルギーシステムとしては、輸出令別表第一の 1～15 項のいずれにも規制対象となる品目はありません。(対象外)</p> <p>上記の装置の主要な構成機器についての該非判定のポイント及び該非判定結果を表 1 に記載します。構成機器は、主に輸出貿易管理令別表第一の 3 項 (2)「軍用化学製剤製造装置」に関連しますが、内容物と接触する部分等が規制される材質ではない等の理由により、いずれの機器も、輸出令別表第一の 1～15 項に「非該当」です。</p>	
判定根拠 資料	<p>■対比表 <input type="checkbox"/>項目別対比表 <input type="checkbox"/>パラメータシート</p> <p>■その他：メーカーの該非判定書</p>	

作成責任者	(作成年月日：2013 年 11 月 11 日)
大学名	国立大学法人 名古屋大学
所属	エクトピア科学研究所 エネルギー科学研究部門
(フリガナ)	(アラキ ヒロシ)
氏名	荒木 廣 ㊞
電話	052-789-
輸出管理審査部門 確認済	

表 5-3 機器構成と各機器の該非判定結果 (その 1)
： 本体装置 (バイオメタン生成プラント部)

No	機器名称	形式・機器番号 (メーカー形式)	該非 1～15 項	関連 項番	判定のポイント (規制値)	対比表
1 (14)	可溶化槽	MK201821 A	非 該 当	3 (2) 1	対比表参照	別表 1
	(攪拌機付)	HSL-7603	非 該	3 (2) 6	対比表参照	別表 6

		阪和化加工機	当			
2	一次発酵槽	MK101822 A	非該 当	3 (2) 1	対比表参照	別表 1
3	二次発酵槽	MK101823 A	非該 当	3 (2) 1	対比表参照	別表 1
4	PH 調整槽	MK201824 A	非該 当	3 (2) 1	対比表参照	別表 1
	(攪拌機付)	KM-2515 関西機械	非該 当	3 (2) 6	対比表参照	別表 6
5	中和槽 (No.1)	MK201825 A	非該 当	3 (2) 4	対比表参照	別表 4
6	中和槽 (No.2)		非該 当	3 (2) 4	対比表参照	別表 4
7	ガスホルダー	MK101827 A	非該 当	3 (2) 2	対比表参照	別表 2
8	乾燥塔	MK201828 A	非該 当	3 (2) 4	対比表参照	別表 4
9	貯蔵タンク	MK201829 A	非該 当	3 (2) 4	対比表参照	別表 4
11	ミートチョッパー	M2.2Kw	非該 当	—	食品残滓を練り潰す装置 1～15 項に規制対象品目なし	なし
12	コンプレッサー					
13 (14)	攪拌タンク	AX038-S01	非該 当	3 (2) 1	対比表参照	別表 1
	(攪拌機付)	HSL-7603 阪和化加工機	非該 当	3 (2) 6	対比表参照	別表 6
24	800L Water Tank	SLT-800	非該 当	3 (2) 2	対比表参照	別表 2
15	水中ポンプ	CR501T-F50 (新明和工	非該 当	3 (2) 9	メーカー判定書参照 (注 1)	別添

		業)				
16	チューブポンプ	KBV-19NM H-5P (川機械工業)	非該当	3 (2) 9	メーカー判定書参照 (注 1)	別添
17	コンプレッサー					
18	循環ポンプ	MD-40RXM -220N (株ワキ)	非該当	3 (2) 9	メーカー判定書参照	別添
20	30Liter タンク	材質：プラスチック	非該当	3 (2) 2	対比表参照	別表 2
(19)	ケミカルポンプ					
21	メタンガス警報器			3 (2) 11		
22	タンクカバー		非該当	—	1～15 項に規制対象品目なし	なし
23	仕切り板		非該当	—	1～15 項に規制対象品目なし	なし
25	100Liter 横置きタンク			3 (2) 2	対比表参照	別表 2

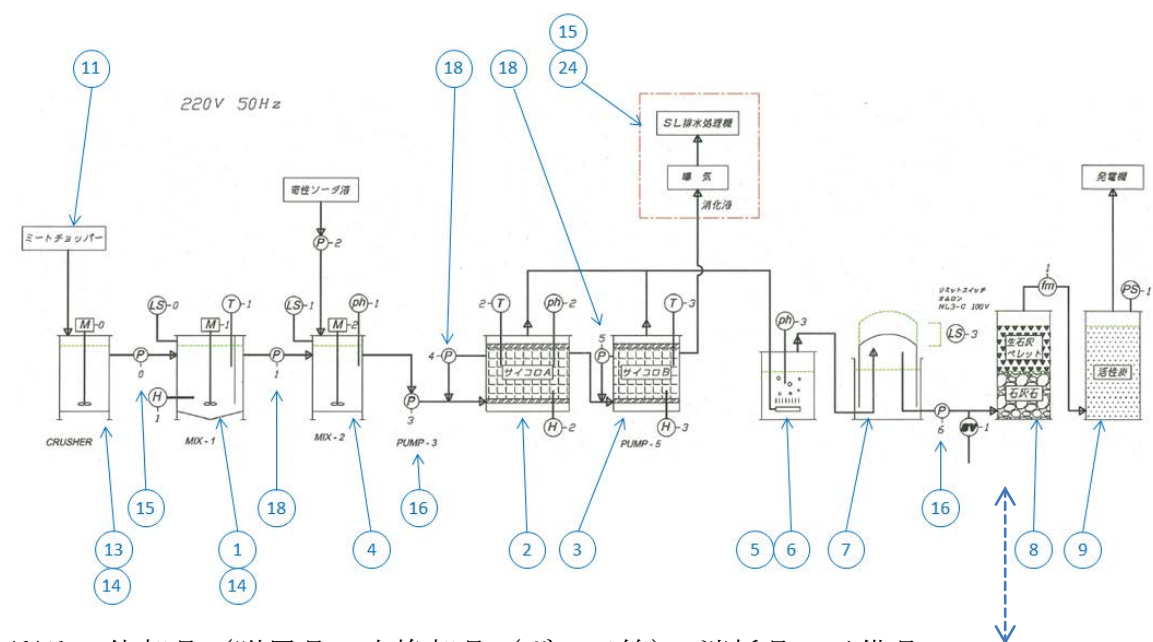
注 1) 2013 年 10 月 15 日施行法令での該非に影響がない事を確認済みです。(該非判定書の発行日が 2013 年 10 月 15 日以前のため)

表 5-4 機器構成と各機器の該非判定結果 (その 1)

: 操作盤・附属品・交換部品・消耗品等

No	機器名称	形式・機器番号 (メーカー形式)	該非 1～15 項	関連 項番	判定のポイント (規制値)	対比表
10	操作盤		非該当	— (2-8)	<ul style="list-style-type: none"> ・当該システムの操作及び制御用 ・盤に組み付けられている、操作スイッチ、表示等、トランス、継電器、ト漏電遮 	なし

					断器、インバータ等、のいずれも機器も規制対象となるものはない。	
26	家庭用	24Liter		3 (2) 2	対比表参照	別表 2
27	ANG ボンベ	117Liter		3 (2) 2	対比表参照	別表 2
28	活性炭					
29	延長ホース	材質：NBR	非 該 当	—		なし



※その他部品（附属品、交換部品（ボンベ等）、消耗品・予備品

(26)(27)家庭用 ANG ガスボンベ、(28)活性炭、(29)延長ホース

⑪ 操作

図 5-67 バイオメタンエネルギーシステムの構成図（主要機器構成）

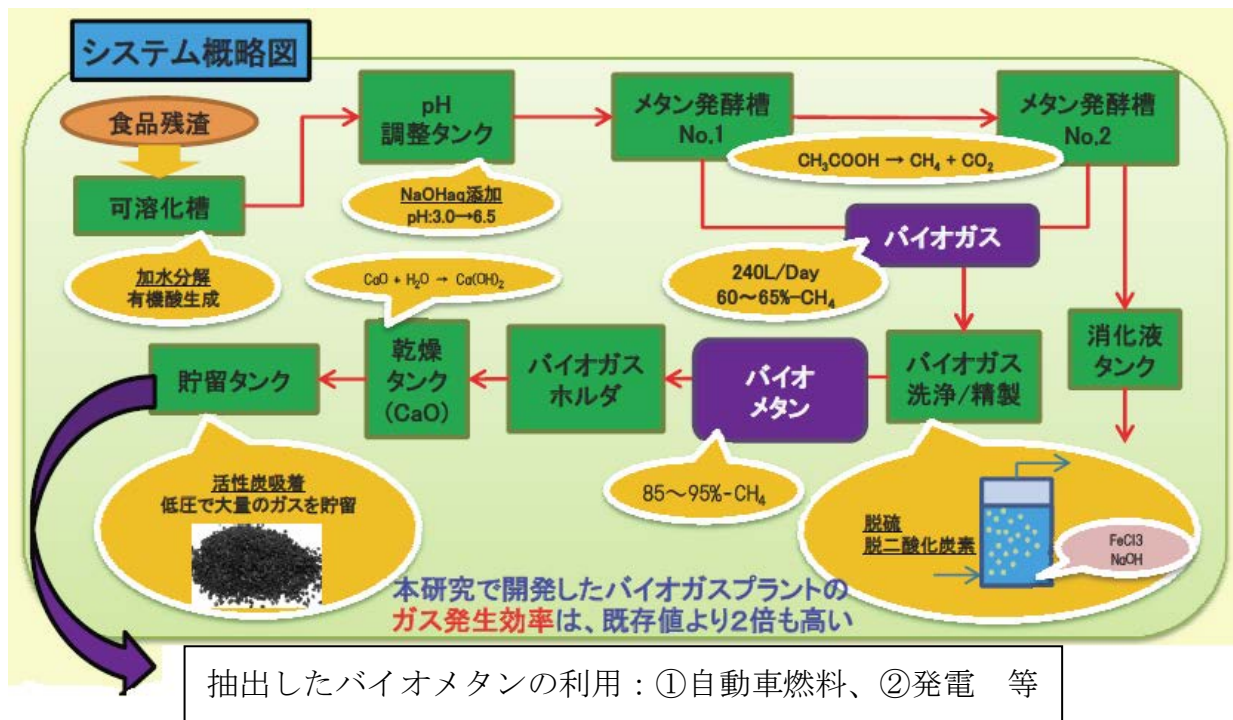


図 5-68 バイオメタンシステムのシステム概念図



(外観：操作面)



(内部：盤内)

図 5-68 (バイオメタンエネルギーシステムの) 制御盤外観及び盤内機器



(1) 30Liter タンク(ケミカルポンプ付)
No.20・19



(2) 800L Water Tank No.24



(3) 100Liter 横置きタンク No.25



(4) 家庭用 ANG ボンベ No.26

図 5-69 その他の附属装置、機器の外観

2) 輸出用インボイスの作成

本システムをタイに輸出するに当たり、郵船ロジスティクス(株)名古屋輸出第一支店営業三課 松浦秀行氏に依頼して、各ユニットの該非判定、輸出物インボイスを作成した。

(7) 車載用 ANG 燃料タンクの設計・調達

車載用 ANG 燃料タンクは、名古屋大学が設計し、春木機工が製造した。各ユニットの設計図及び写真を以下に示す。本タンクは、タイでピックアップカーに設置後、ガスを充填して走行試験を行う。



図 5-70 車載用 ANG 燃料タンク

(8) 家庭用 ANG ボンベの設計・調達

家庭用 ANG 燃料ボンベは、関根産業が設計し、前島工業所が製造した。各ボンベの設計図及び写真を以下に示す。本ボンベは、大型（117L）及び小型（24L）の容積に、活性炭が充填されており、ガスを充填してタイの家庭において燃焼試験を行い、調理等に用いる利用可能かを調べた。

又、本 ANG 家庭用ボンベについての感想及び今後の希望をインタビューした。大学付近に居住する E.Kunsombat 氏及び R.Lerkrai 氏の家庭を訪れ、ANG 家庭用ボンベをガスレンジに接続し、調理に利用可能かどうか調べ、ボンベの利用についてインタビューした。



図 5-71 大型ボンベ



図 5-72 小型ボンベ

第2節 オペレーションマニュアル作成

(1)詳細マニュアル(Instruction Manual for Operation and Maintenance)の作成
プラント操作及び管理の注意点を「Instruction Manual for Operation and Maintenance」
として、名古屋大学の荒木氏がまとめた。これに基づき現地の学生、スタッフとの読
み合わせを通じて教育を行う。これにより、独自にプラント運転及び管理が可能とな
る。

Instruction Manual for Operation and Maintenance of Bio-methane Energy System

Sekine Sangyo CO.LTD and Nagoya University, Japan

November, 2013

(CONTENTS)

1. GENERAL INSTRUCTION

1.1 Operation and Maintenance

1.2.Methane Fermentation System

1.3 Anaerobic Digestion

2. OPERATION

2.1 General Plant Description

(1) Control of Unit Operations

a) Equipments

b)Valves

c)Electricity

2.2 Unit Operation

(1) Plant running on water and diluted slurry trial

(2)Unit process operation

a).Crushing / Slurrification Process

b)Pretreatment (Solubilization / Hydrolysis) Process

c)pH Adjustment Process

d)Methane Fermentation Process

e)Biogas Cleaning/Upgrading Process

f)Bio-methane Holding Process

g)Drying Process

h)Digestion Residue Storage Process

i)Process Monitoring by Control Panel

3. SAFETY

1. GENERAL INSTRUCTION

1.1 Operation and Maintenance

The operation and maintenance of plant describes activities that cover the fermentation plant including the electrical and mechanical equipments. The operation and maintenance of the plant will be handled by individual operators. Therefore the operator must read and understand these instructions before operating the plant.

(1)The procedures and operating conditions listed here are only guidelines and may be modified on start-up and operation. The control system can be flexible enough to accommodate these changes.

(2)This does not cover peripheral equipment, which may affect the plant.

(3)It is expected that the operator may be required to take some decisions and actions not covered by this manual. The operator will be expected to monitor the system during operation, and may need to intervene to assure safe operation of the plant when required. The control system must be flexible enough to allow operator intervention when necessary.

- (4) Operator should read the bought-out items operation manual / safety procedures received from respective vendors and follow the instructions as mentioned in their manual before starting / stopping the respective item.
- (5) Operating personnel should follow the safety regulations of factory rules as well as factory acts and regulations in Thailand.
- (6) Before plant start it is necessary to make detailed schedule so as to understand sequence of start-up of individual sections and their synchronization.
- (7) A plant operation instruction means that outputs of an operation instruction corresponding to the selected object item to the plant by a user's instruction.
- (8) A purpose of manual is to provide an apparatus, a system and a program for plant operation monitoring support capable of confirming in advance influences of an operator's unit operation on a plant and enabling a low-skilled operator to perform stable operation of the plant with a field of view that is close to one owned by a skilled operator.
- (9) A manual provides a stable and continuous operation over a long term, regarding a producing biogas obtainable through the methane fermentation of food waste in a producing plant.

1.2.Methane Fermentation System

- (1) The most important thing to remember is that a methane fermentation(digestion) is not a chemical process but a "biological process".
- (2) The "anaerobic" bacteria responsible for digestion can't survive with even the slightest trace of oxygen. Because of the oxygen in the substrate (slurry of raw material) fed to the digester, there is a long period after loading before actual fermentation takes place. Oxygen must be basically excluded from the inside of digester as much as possible.
- (3) During this initial "aerobic" period, traces of oxygen are used up by oxygen-loving bacteria, and large amounts of carbon dioxide (CO₂) are released.
- (4) When oxygen disappears, the digestion process can begin. That process involves a series of reactions by several kinds of anaerobic bacteria feeding on the substrate.
- (5) In the first stages of digestion, organic material which is digestible (fats, proteins and most carbohydrates) are broken down into simple monomeric compounds by *acid producing bacteria*(Acetogen). The acid bacteria are capable of rapid reproduction and are not very sensitive to changes in their environment. Their role is to excrete

enzymes, liquefy the raw materials and convert the complex materials into simpler substances (especially volatile fatty acids), which are low molecular weight organic acids.

(6)The most important volatile fatty acid is acetic acid (table vinegar is dilute acetic acid), a very common by-product of all fat, starch and protein digestion. About 70% of the methane produced during fermentation comes from acetic acid.

(7)Once the raw material has been liquefied by the *acid producing bacteria*, *methane producing bacteria* convert the volatile fatty acids into methane gas. Unlike the acid bacteria, methane bacteria reproduce slowly and are very sensitive to changes in the conditions of their environment(*Oxygen content, pH, temperature and raw materials*) (Note).

(8)Successful digestion for continuous-load digesters depends upon achieving and maintaining a balance between those bacteria which produce organic acids and those bacteria which produce methane gas from the organic acids(Note).

(9)This balance is achieved by a regular feeding with enough liquid and by the proper *pH, temperature* and the *quality of raw materials* in the digester.

(9)The general quality of biogas can be estimated from the C/N ratio of the raw materials used. With good temperature and raw materials, 50 to 70% of the raw materials fed into the digester will be converted to biogas.

1.3 Anaerobic Digestion

(1)The optimum temperature of anaerobic digestion which promotes activity of the bacteria and consequently produce more methane gas, is between 25 to 55 ° C. In colder temperature this is difficult to maintain but worthwhile trying to achieve.

(2)In the middle temperature range (20 - 45° C, optimally at 35 ° C), MESOPHILIC, medium temperature loving bacteria will thrive. This is the most common temperature range for anaerobic digesters in use at methane fermentation plants.

(3)The highest temperature range (49 - 57° C), is dominated by THERMOPHILIC, hot temperature loving bacteria. Because of problems maintaining the high temperature, sensitivity of the organisms to temperature change and poor liquid/ solids separation, few digesters run in the thermophilic range.

(4)Acidity is also important with a desired pH of *between 6.5 and 7.5*. With a low acid content(below 6), the high pH(pH8), the fermentation slows down until the bacteria produce enough acids to restore the balance. Acidity must be checked by watching a

pH-indicator in the control panel display at fixed intervals(Note). Otherwise it can be measured by using litmus paper or pH meter.

(5)Carbon and nitrogen are the other two components for a digester and are both required for the bacteria to live. However, the bacteria consume the carbon at about 30 times faster than the nitrogen. This 30:1 ratio produces the maximum amount of gas. If the ratio is not correct the bacteria will usually compensate creating the right balance within the digester.

(6)The slurry which is left after the digestion process is mainly composed of organic humus, with small amounts of nitrogen, phosphates and trace of potassium. This final product of methane fermentation makes an excellent fertilizer and soil conditioner.

(7)It should be noted that the time in starting the ordinary digester and producing gas can be as long as 2 to 4 weeks(Note). This is because the bacteria will first need time to breakdown the slurry into acids and sugars, before the second group of bacteria which is the gas producing ones, can adjust the carbon/nitrogen mix and the acidity level for reasonable amounts of gas to be produced.

However, on the fixed-bed fermentation such as our fermentation system, the time for digestion and gas production is sometimes as short as 1 week because of some carriers in the digester to keep the concentration of bacteria at a high level, which provokes high production of biogas.

(8)The theoretical methane yield can be estimated by the amount of converted chemical oxygen demand(COD), but the exact recoverable yield depends on a number of environmental conditions. On the digestion process, the methane content of biogas is generally between 55%-70%. The remaining composition is primarily carbon dioxide, with trace quantities (10-15,000 ppm) of corrosive hydrogen sulfide and water.

(9)Methane is a *colorless, odorless, flammable gas* and the main constituent, 55% to 70% of biogas that we use in our homes in the world. It is a hydrocarbon and chemical symbol is CH_4 (Note).

(10)Methane produced by the anaerobic digestion process is quite similar to natural gas that is extracted from the wellhead and piped to our homes. However, natural gas contains a variety of hydrocarbons other than methane, such as ethane, propane, and butane.

(11)The expected energy content of pure methane is 55.35MJ/kg; natural gas has an energy content about 10% higher because of added gas like butane. However, the

particular characteristics of methane, the simplest of the hydrocarbons, make it an excellent fuel for certain uses.

2. OPERATION

2.1 General Plant Description

(1) Control of Unit Operations

a) Equipments

All equipment on site must be operated in accordance with the suppliers' manuals. The weight scales and other measurement devices must be calibrated once every six months by the Standards Bureau of Thailand.

b)Valves

All valves in the system are designed for a maximum water working pressure of 150 psi. They are resilient-seal, gate valves, designed for controlling flows.

Cast iron or steel is typically used. Plug valves are commonly used in sludge and scum lines. Gate valves or butterfly valves are undesirable and rarely used because grease, rags and debris can catch on them and prevent them from seating.

- (i) Check valves are automatic ball type incorporating a hollow iron, natural rubber-covered ball.
- (ii) Seals are also made of natural rubber. All fasteners are made of stainless steel.
- (iii) Each pump has a ball check valve and a resilient-seal gate valve on the discharge line. The check valves prevent the reverse flow of wastewater through the non-operating pumps.
- (iv) The gate valves are closed to allow maintenance and repair work on the pumps and must be reopened before pumps are operated to prevent pump damage.
- (v) When operated, the gate valves should be opened to full-open and closed to full-close, and operated at least monthly to ensure proper operation. The check valves are designed to be essentially maintenance and clog free.
- (vi) If for any reason the valve on the idle pump line does not seal when the opposite pump is operating, it may be cleared by operating its associated pump. If this is not successful, the valve should be removed and cleaned or replaced if damaged. Flexible couplings and pipe fittings should be inspected for leakage during pump operation, and the flexible couplings replaced as required when aging and wear cracking occur.

c)Electricity

The electric company shall supply Power at following parameters to the plant:

Pump - 220VAC / 3 phase / 50 Hz

Mixer - 220VAC / 3 phase / 50 Hz

Level sensors - 100VDC/1phase/50Hz

2.2 Unit Operation

(1) Plant running on water and diluted slurry trial

- a)Follow all the steps explained in water trials for every fresh start-up without slurry in system.
- b)Start plant on water as explained in water trials by putting water in a tank.
Before switching over process from water to slurry, ensure slurry is ready in holding tank for steady and continuous supply.
- c)At the end of water trials, plant will be running on water with all stabilized onditions.
- d)Ensure fermented tanks are ready in wash holding tank to feed it to fermentation.
- e)Stop water and start slurry to process tank with the rate of m^3/hr at the beginning. Go on increasing slurry feed rate slowly with increment of m^3 every 30 min. up to m^3/hr (Initially stabilize the plant at approximate 60% capacity only. This feeding rate is to be calculated based on the slurry concentration in wash feed). Once plant is stable slurry feed can be increased to achieve full capacity.

(2)Unit process operation

a) Crushing / Slurrifing Process

- i)The raw materials as food wastes and household garbage are supplied from restraints, hotels and ordinary homes to plant by a collecting truck with bio-methane storage tank(ANG fuel tank). This waste and garbage are packed in special buckets and directly transferred to the stand setting besides the crusher. The food waste is preferably used as the fermentation raw material.
- ii)On crushing and slurrifying process raw materials(food wastes and garbage) are crushed and slurrified combining a fluid to produce a slurry, injecting a substances by a specially made stick.
- iii)A system for slurrifying raw materials includes a crusher(meat-chopper), a pump, and a transfer line fluidly connecting the crusher and the pump, the transfer line having a fluid inlet for receiving a tank which is a tank in pretreatment process.
- iv)The system includes a storage vessel fluidly connected to the pump for storing a

slurry. The mixing vessel includes a mixer and a pump transferring the slurry to a pretreatment tank.

- v) The principle for crushing and slurrifying by a meat chopper is based on chopping up raw materials with a pair of a knife (rotating blades) and a plate (fixed blade),
- vi) The basic structure of meat chopper is composed of screw-shaped roller to screw in and cutter to cut materials by using the rotating knife and the thick fixed plate with some holes. The diameter of the hole in the plate decides the size of crushed materials. The cutting sharpness depends on the sharp edge of holes in the plate and the sharp clearance between rotating blades (knives) and the plate.
- vii) To provide a homogeneous slurry to digester can efficiency and effectively promote methane fermentation (Note).

b) Pretreatment (Solubilization / Hydrolysis) Process

- i) Raw materials in a slurry undergo solubilization /hydrolysis in the pretreatment process at about 37°C. After hydrolysis , pH of wastes slurry drop down to 3.0 ~3.5 by production of acidic materials.
- ii) The time in completing pretreatment can be as long as 1 to 2 days.
- iii) In this process, organic material(fats, proteins and most starches) in a slurry are broken down into simple monomeric compounds by acid producing bacteria.
- ix) The most important compound in volatile fatty acid is acetic acid, which is a very common by-product of all fat, starch and protein degradation.
- x) Polymeric materials such as lipids, proteins, and carbohydrates are primarily hydrolyzed by extracellular hydrolases, excreted by microorganisms present in this process.
- xi) Hydrolytic enzymes, (lipases, proteases, cellulases, amylases, etc.) hydrolyze their respective polymers into smaller molecules, primarily monomeric units, which are then consumed by methane bacteria.
- xii) In methane fermentation of substrates containing high concentrations of organic polymers, the hydrolytic activity relevant to each polymer is of paramount significance, in which polymer hydrolysis may become a rate-limiting step for the production of simpler substrates to be used in subsequent degradation steps.
- xiii) The pretreated substrates are automatically and quantitatively pumped into pH adjustment tank for storing a slurry. The timing to transfer the slurry is depending on the sending rate of pH adjusted substrate to the digester. This sending rate will be

regulated by the amount of substrate supplying to the digester.

c)pH Adjustment Process

- i) The pretreated substrates are automatically and quantitatively pumped into pH adjustment tank for storing a slurry. This tank's role is pushing up the pH of the slurry, because the pH of the slurry containing hydrolyzed substrates is too low for anaerobic bacteria in digesters.
- ii) The pH is pushed up to about 6.5 ~ 7.5 by adding 3% sodium hydroxide (NaOH) aqueous solution from a chemical pump into the tank. The addition of NaOH solution is automatically started and stopped according to a pH sensor detection. The content in the tank is continuously stirred by a circulating pump to maintain optimum pH.
- iii) When water level drop down in some measure, the pump starts to work and send substrates from the solubilization tank.
- iv) If the pH is brought back up too quickly, rest the unit by not pumping any new NaOH for at least 24 hours. That is the same thing that needs to happen to recover from a digester upset.
- v) The pH adjusted substrates are automatically and quantitatively pumped into the digester. The sending rate will be regulated by the amount of substrate supplying to the digester.
- vi) Methane fermentation is performed in a methane fermentation tank after the pretreatment process.

d)Methane Fermentation Process

- i) Biogas is produced by methane fermentation in this process. The fermentation is carried out with anaerobic fixed-bed method adsorbing high concentration of methane bacteria by plastic carriers. Volatile fatty acids (acetic and propionic acids) in the slurry from pH adjusting tank are sent to the digester and converted to methane by anaerobic bacteria.
- ii) This process includes two digesters (primary and secondary digestion tank) connecting in series.
- iii) The primary digestion tank receives the thickened sludge. It is heated at 35 to 37 °C by electric heating system and is installed mixing equipment to keep the slurry stirred and temperatures uniform.
- iv) The mechanical mixer is a mechanical unit that mix by pumping digester gas and sludge into the carriers.

- iv) Biogas produced in the digester can be collected and removed with a floating top that connects with upgrading/cleaning tanks.
- v) The sludge passes from the primary digester to the secondary digester, which has the same system. The slurry after the primary digester is overflowed into a secondary digester and is digested again, so that the organic substances in the sludge can be effectively utilized.
- iv) The secondary digester is also heated and mixed in the same way as the primary one. It is generally used to settle digested sludge and finish the digestion process prior to drawing the slurry off to the storage tank. The secondary digester also produce most of biogas that is transferred to the upgrading/cleaning tanks.
- v) The slurry feed(inlet) lines are typically piped to the bottom of the digestion tanks on the same side from the supernatant overflow pipe or injected into the slurry circulation line upstream of the tank.
- vi) Slurry draw-off(outlet) lines are usually placed on the pipe outside the digester. The lines are used to transfer seed sludge from the primary to the secondary digester, and to remove sludge to a digestion residue tank. It is preferable not to locate them under the floor of the digester because they would not be accessible in case of blockages.
- v) The optimum temperature of anaerobic digestion which promotes activity of the bacteria and consequently produce more methane gas is between 35 to 37 °C. The temperature of slurry in the digesters are controlled by electric heaters.
- vi) Acidity is also important with a desired pH of *between 6.5 and 7.5*. With a low acid content(below 6), the high pH(pH8), the fermentation slows down until the bacteria produce enough acids to restore the balance(Note).
- vii) The time in completing the transformation to methane can be as long as 1 to 2 days in this system.
- viii) The methane bacteria(Methanogen) will not be able to keep up with the acid production and the volatile fatty acid to alkalinity ratio will increase. The best thing to do in this case is to decrease acids in the digestion, stop eating and rest. If that isn't possible, addition of calcium carbonate to the slurry flow will increase the alkalinity and help restore the volatile fatty acid to alkalinity ratio.
- ix) Warm environments, high outside temperature will encourage gas production, while cold environments will slow gas production. As the outside temperature fluctuates, the inner tube might expand in the heat and contract in cool.

- x) The digester will have continuous gas production for 2.5 to 3 months in stable state. However, once gas production slows considerably or ceases, the biogas system simply needs to be recharged. After it's recharged with new inoculum, the digester will produce gas again. The old slurry can be used as green fertilizer. Nothing is wasted! (Note)
- xi) For the overflow from the secondary digester, the DO and BOD content must be measured so that it can be added to the organic loading in effluent treatment. The concentration of organic components in a digestion residue (sludge) after secondary fermentation decreases by efficiently fermenting the organic substances.
- xii) Sludge pumped to the digester is colder than the digester. It can decrease the digester temperature if it is added in large volumes over short periods. The best practice is to feed continuously at low flow rates so that the heating systems can maintain a more constant temperature.
- xiii) Feeding at lower flows for longer periods will help minimize the impact on the digester. Thickening sludge to achieve the highest solids content will also minimize the impact on the digester temperature. Thicker sludge means less water is required to move a pound of solids.
- xiv) The pipe used in the digesters must be able to withstand pumping pressures, severe corrosion and clogging the sludge.
- xv) A porous carrier is immersed in a methane fermentation liquid to support high concentration of microorganisms and make a methane fermentation reaction proceed.

e.) Biogas Cleaning/Upgrading Process

- i) A wet system is used for biogas cleaning and upgrading in this process. Hydrogen sulfide (H_2S) and carbon dioxide (CO_2) in biogas can be removed by passing through both 3% Ferric chloride (FeCl_3) and 3% NaOH aqueous solutions tanks connected in series. Biogas is upgraded to bio-methane with 95% concentration after purification (cleaning / upgrading).
- ii) This biogas upgrading process uses advanced gas purification and energy saving technologies to produce the highest quality and most environment friendly bio-methane with the same properties as natural gas.
- iv) In the upgrading process the H_2S content in the raw biogas is reduced to very low concentrations, typically below 0.5 ppm. After the process a special alkaline is used absorbing 99.5% of the CO_2 .

iv) Hydrogen sulfide(H_2S) removal

1. In this system, the biogas to be cleaned enters the bottom of cylinder-like tower and flows upward through a slurry. The hydrogen sulfide is then absorbed by bubbling and precipitates as wet ferric sulfide. By oxidizing the slurry in oxygen, ferric oxide is formed, which can be sold as a by-product.
2. Hydrogen sulfide (H_2S) is the most common contaminant in biogas. The H_2S concentration can range between 10 and 10,000 ppm during normal fermentation.
3. H_2S must be removed for any possible use of biogas. Metallic pipe is basically corroded by H_2S . H_2S also corrodes engine parts in the combustion chamber, exhaust system and in various bearings. Income will be lost during overhauls and breakdown, which require substantial expenditures.
4. The quality and purity of biogas is essential for a good performance of energy conversion processes.
5. The process is found to be more efficient if a ferric chloride/water slurry is used. A flue gas is scrubbed into the resulting slurry, removing over 99% of H_2S .
6. The most applicable and specific method for detecting and determining H_2S is a method using gas detector tube with a gas collection device.
The gas collection device is a suction pump to let a gas-detecting tube ventilate the sample gas of the fixed quantity. In inside of the glass detector tube the specifically detective reagent to H_2S gas is sealed up. The detective agent coated on a body of a silica gel and alumina shows clear change of color in response to a specific gas for accurate measurements.

v) Siloxane removal

1. The gas to be cleaned enters the bottom of cylinder-like tower and flows upward through a slurry. The siloxane is then absorbed by bubbling.
2. This system is much efficient with contents of less than 0.05 mg/ Nm^3 , which is the lowest detectable level for today's instruments.

v) Carbon dioxide (CO_2) removal

1. Carbon dioxide can be removed from biogas by being diffused through 3% NaOH aqueous solution in this system.

2. The gas to be cleaned enters the bottom of cylinder-like tower and flows upward through an alkaline solution. The carbon dioxide is then absorbed by bubbling to produce sodium carbonate.
3. After this process biogas is upgraded to bio-methane with more than 95% purity and without hydrogen sulfide.

f) Bio-methane Holding Process

- i) Purified biogas is temporarily kept in a methane holding tank. As bio-methane has low solubility in water, it can be effectively stored in the gas tank with the water seal type.
- ii) The gas holding is easy and possible for unmanned operation because the pressure in the tank can be constantly maintained depending on volume change from the top and bottom of tank.
- iii) During bio-methane accumulation in some measure, the cap of the tank raises up slowly. When the cap raises up and reaches the fixed position, the compressor starts to work by a laser beam sensor. Then bio-methane is sent to the dry tank.
- iv) After the completion of gas sending, the cap of the tank falls down to the original position and the compressor automatically stops to work. And then bio-methane holding starts again.

g) Drying Process

- i) Removal of water from gas may be by physical and/or chemical means.
The compressed bio-methane passes through a drying tower from the bottom to top. The moisture is commonly adsorbed on a drying agent in a low temperature trap.
- ii) In drying process the flue gas firstly passes through a fine limestones in lower part and secondly dry Calcium oxide (CaO) powder in upper part of the tank. In principle the moisture in the gas is removed from the flue gas stream by the reaction with CaO and the condensation on the limestone's surface.
- iii) CaO can be used to neutralize acidic gas components and remove trace amount of hydrogen sulfide in bio-methane.
- iv) The concentration of bio-methane increases to 98% after drying by the desiccant (CaO) and removal of small amount of CO₂. The moisture content reaches to less than 0.1ppm.

- v)The end product containing 98% methane is available for vehicle fuel or to be fed into the natural gas grid.
- vi)CaO is the most cost effective alkali that can be used for this kind of treatment, with less dosage and less waste production compared with other reagents.
- vii)The effectiveness of drying agents depends on the vapor pressure of the hydrated compound. The lower the vapor pressure, the less the remaining moisture in the gas.

g) Bio-methane Storage Process

- i)Adsorbed Natural Gas (ANG) storage technology is used in this system. This technology has a promising advantages for methane storage.
- ii)ANG technology allows large amounts of bio-methane to be stored at a relatively low pressure (less than 1 MPa), at room temperature. This system is succeeded to develop commercially viable technology although the principles of bio-methane adsorption have been around for decades.
- iii) ANG might be an attractive alternative to compressed storage technologies as CNG and LNG, because the gas is stored on micro-porous material packed into a vessel at much lower pressure.
- iv)The storage tank contains activated carbons as adsorbent ,which has a very large surface area (500~2500 m³/g). A great amount of bio-methane is adsorbed in activate charcoal (more than 80 L/L -AC) under low pressure (less than 1 MPa). Handling ANG tank of this system is possible without official permission.
- iv)Bio-methane upgraded in this system contains up to 98 % methane (CH₄), the remaining being carbon dioxide (CO₂), nitrogen, however, no higher molecular weight hydrocarbons, such as ethane (C₂H₆), propane (C₃H₈) and butane (C₄H₁₀).
- v)As the gas discharge entrance of the storage tank is set lower than the tank top, the active carbon should be filled under the discharge entrance.
- v) 10 kg active carbon will be filled with special bag with the zipper such as washing bag used now in Nagoya University. Around 20 bags are necessary for filling the storage tank.
- vi)It is necessary to prepare the plastic or metal stick with a hook on a stick top. This stick is convenient for the injection and withdrawal of bags from upper tank flange mouth. Putting a face in the tank is *Very Dangerous*, because residual methane will remain inside(Warning).
- vii)Not less than 90 kg of activated charcoal is necessary for a storage of whole amount of bio-methane produced per day in 1MPa, as the fermentation plant can

produce 8640 L/day methane on 60kg/day of raw materials supply (100L methane adsorption /kg active carbon).

- viii) The filling quantity of the active carbon can be estimated 184 kg in a storage tank supposing packing density as around 0.5 kg/L. This means that the storage tank can fill bio-methane produced for two days in the fermentation tanks.
- ix) When the compressor starts running, a magnetic valve in the line between the storage tank and drying tower will open at the same time to introduce the bio-methane in the storage tank. The valve will be closed on stopping the compressor.
- x) The pressure of methane stored in the tank is shown on a pressure gauge of the tank and a display in the control panel.
- xi) The stored methane gas is taken out from the valve on the bottom of the tank by using an explosion-free compressor, which can be connected by a pressure-proof hose.
- xii) The methane stored in the compressor will be introduced to a fuel tank of bio-methane vehicle, household cylinders and power generator by using a pressure-proof hose which has a different type connector.

h.) Digestion Residue(Sludge) Storage Process

- i) The sludge in the slurry is drawn off by pumping from secondary digester to a digestion residue storage tank.
- ii) The slurry can be used as “green” fertilizer. Well-digested sludge will have a pH between 7.0-7.2. It will not have the septic odors of green sludge and will have a leathery appearance.
- iii) The slurry which is left after the digestion process is mainly composed of organic humus, with small amounts of nitrogen, phosphates and trace of potassium. This final product of methane fermentation makes an excellent fertilizer and soil conditioner.
- iv) Removing sludge too fast from the secondary digester can create an upset condition in the storage tank. Unstable "green" sludge still contains organisms that work more and produce biogas in the tank. If too much settled sludge is removed, the population of these organisms may drop to the point that an upset occurs.

i) Process Monitoring by Control Panel

- i) AUTO mode means automatic operation and MAN mode means manual operation.
- ii) To provide a plant monitoring information, the display in control panel is used by showing the monitoring information on a screen of the control panel.
- iii) The control panel is easily and visually recognizable way with a simple operation (on/off switch).
- iv) The plant monitoring information involves the action of mixer, the pH change inside of tanks, the temperature of inside of tanks, and the methane generation device.

3. SAFETY

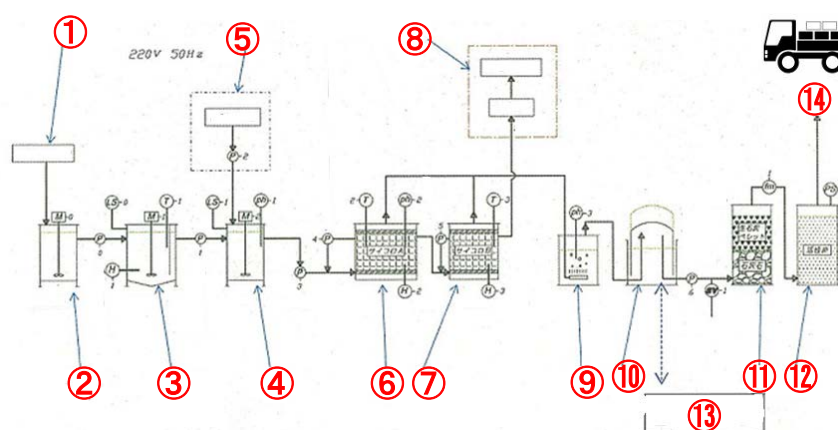
- (1) Methane can form a highly explosive gas mixture in connection with air (Warning). If there is oxygen inside the tanks or tubes, there is a risk that the flame could travel inside, causing a large explosion.
- (2) The installation of plant should be carried out only by authorized and trained persons or companies.
- (3) Safety precautions must be adhered to by all personnel and visitors to the plant.
- (4) Safety indication (Note, Caution and Warning) can be in the form of clearly marked signs throughout the plant site.
- (5) Safety precautions should be discussed in relation to operating fermentation plant and handling all hazardous substances.
- (5) First aid procedures for dealing with accidents involving personal injury should be available through adequate training and the maintaining of a first aid handbook and kit on site.
- (6) Rubber gloves must be worn with the direct handling of raw materials, sludge or chemicals. If there is direct contact, hands must be washed and rinse in a bactericidal solution.
- (7) Don't eat and drink anything in plant area. Food and drinks should be kept in office areas and measures taken to prevent contamination.
- (8) Be careful not to breathe in raw biogas and bio-methane.
- (9) The plant site must be kept orderly and cleaned regularly for safe operation..
- (10) Long duration shut down is generally planned shutdown for any reason. There are some planned maintenance jobs which are to be carried out during shut down. First of all, make shutdown plan with respect to fermentation. This is important because after shutdown there should be no fermented mash lying in the fermentation section. Fermented slurry should be consumed completely.

(2) 簡易マニュアル(Beginner's Guide for Operation and Maintenance of Bio-methane Energy system) の作成

又、緊急時の迅速な対策が必要な場合を想定して、簡易マニュアル(Beginner's Guide for Operation and Maintenance of Bio-methane Energy system)を作成した。

Beginner's Guide for Operation and Maintenance of Bio-methane Energy System

Sekine Sangyo CO.LTD and Nagoya University, Japan



①Meat Chopper and ②Agitator

1. Don't eat and drink anything in plant area.
2. Remove metallic, plastic and woody materials from the raw materials.
3. Don't inject materials directly by using hands and feet without specified tools.
4. Rinse a screw-shaped roller and a cutter after every use.
5. Don't lose or destroy the parts, as they are very valuable and have no spare.

③Solubilization Tank

1. Do't inject much amount of slurry at once to avoid plugging in the tube of a pump.
2. Check pH, temperature, amount of slurry (slurry level) in the tank at fixed intervals
3. Check the operating condition of stirring pump at fixed intervals.

④pH Adjustment Tank

1. Check the amount of solution in the tank for pH adjustment every day.
2. Never increased or decrease in pH under 6.5 or up to 7.5, to avoid bringing a shock to methane bacteria in digesters.
3. Call the supervisor on the sudden change of pH.

⑤Chemical Pump with Alkali Storage Tank

1. Use safety goggles on all operation works, because alkali treatment is *Dangerous!!*

- 2.Prepare and add certainly the alkali solution before the tank is empty.
- 3.Cool an alkali preparation bottle with water to suppress much heat generation.
- 4.Wash eyes immediately with much tap water, when alkali unfortunately gets into eyes.

⑥+⑦Methane Fermentation Tank(Digester)

1. No smoking any time because methane gas is flammable and explosive in air.
- 2.Remain the electric heater under the water of the digester to avoid the overheating .
- 3.Check the operation of circulating pump every day to avoid substrate plugging.
- 4.Check and record pH, temperature ,production of biogas every day.
- 5.Don't change a feeding time of the slurry by pump.
6. Don't use any kind of petroleum products on the digester not to kill the bacteria.
- 7.Check biogas composition, concentration of hydrogen sulfide at fixed intervals.
8. On scum generation, call the supervisor or stop the pump urgently if no contact.

⑧Digestion Residue(Sludge) Storage Tank

- 1.Keep the tank outlet open to maintain the pressure as same as atmospheric pressure, so that the overflow of sludge can proceed smoothly.
- 2.Check the slurry level in the tank every day and pump out the content every two days.
- 3.Don't peek into the tank, because biogas with hydrogen sulfide may exist inside.

⑨Biogas Cleaning/Upgrading Tank

1. Renew the solution of ferric chloride and sodium hydroxide at fixed intervals.
- 2.Use safety goggles and gloves on the preparation of both aqueous solution.
- 3.Check bubbling from diffusing pipe to avoid plugging by chemical's deposition.
- 4.Record production of temperature and pH of the solutions every day.
- 5.Don't leave open the valves of the tank to avoid the leak of hydrogen sulfide(H_2S).

⑩Bio-methane Holding Tank

- 1.Check water level in water bath at fixed intervals to prevent the leak of gas.
- 2.Check the operation of level sensor of gas holding tank at fixed intervals.
- 3.Check the movement of the tank at fixed intervals, when the compressor is working.
- 4.Record production of bio-methane by gas flow meter every day(Ask supervisor).

⑪Drying Tower

1. Check moisture content in the gas at fixed intervals by using gas detector tube.
- 2.Pull a drain pooled in the bottom of tank at fixed intervals to avoid inner pressure

raise.

3. Use safety goggles and gloves on removal of the drain to avoid alkali water scattering.
4. Vacuum completely residual bio-methane on exchange of drying chemical(CaO).

⑫Bio-methane Storage tank

1. Check the action of magnetic valve on running the compressor to send bio-methane.
2. Check and record the purity of bio-methane at fixed intervals(Ask supervisor).
3. Record the gas pressure in the tank every day.
4. Check the leak of methane by leak-checking liquid at fixed intervals.
5. Remove completely bio-methane in the tank on exchange of activated charcoal.

⑬Control Panel

1. Check the display on a screen of the control panel showing the monitoring information involving mixer action, pH change, the temperature and the other device.
2. Use only on/off switch for simple operation.
3. Don't open the door of the control panel to change the values of electrical units.

⑭Bio-methane Car

1. Use a specialized pressure tube to connect the bio-methane storage tank with a compressor and a bio-methane car.
2. Don't connect the storage tank directly with a tank in the car.
3. Don't compress the bio-methane over 1MPa into the tank of compressor, as the exhaust valve(safety valve) is operated.
4. Check the leaking of methane on the connection of the tank and compressor.

(3)注意事項リスト (Notice on Installation and Operetion) の作成

プラント運転における注意事項、各ユニットの部品補充に役立つよう、リストとを作成した。これを基に、運転中に不足した部品の補充を行う。

表 5-5 .List of required parts and equipments

	Item	Volume(Capacity)	Quantity
1.Meat chopper and Agitator	Plastic container	18L	
	Vinyl hose with hose reel	20m	1
	Washing brushes	several sizes	1
	Deck brush		3
	Rubber boots	L-size	1pack
	Flashlight		3
	Mask		3boxes
	Tool set and component		1set
2.Solubilization tank			
	Tubing unit for pump		1
3.pH Adjusting tank			
	pH Standard solution set (pH7.4,9)	100ml	1
	pH Internal solution	1L	1
	Teflon sealing tape		10
	Tubing unit for pump		2 sets
4.Chemical pump			
	Bucket	10L	5
	Safety goggles		5
	Rubber glove		5
	Electric balance	10kg	1
	Sodium hydroxide(NaOH)	21kg	1
5.Methane fermentation tank			
	H2S detecting kit		1
6.Cleaning/Upgrading tanks			
	Bucket	10L	
	Magnetic tirror		
	Shovel	Small	
	Stirring rod	1m	
	Ferric chloride(FeCl3)	21kg	1
7.Drying tower	Calcium oxide	670kg	1
	Limestone	160kg	1
8.Bio-methane storage tank			
	Vaccum pump		1
	AC containing bag (Laundry bag)	10kg	10
9.Digestion residue(sludge) storage tank			
	Portable pH meter		1
10.Office function			
	Note		5
	Marker		10
	PC		1
	Printer		1
	Printing paper		5 packs

Notice on installation and operation

1.Criteria for selection of methane bacteria inoculum

- **No use** :Inlculum of USBA(Upflow Anaerobic Sludge Blanket) type digester or anaerobic treatement plants, because granular sludge(2mm particles) causes the clogging of pipe in our digester(Fixed-bed fermentator)
- **Best available** :Innoculum from digeters using food wastes as raw material, because rising-time at initial fermentation become shorter on use of similar raw materials in our plant
- **Better use** :Inoculum from anaerobic treatment equipments of effluents of food plants, food processing plants and canning plants
- **Available** :Inoculum from anaerobic treatment equipments of effluents for livestock excrement acilities(cow dung treatment, etc.)

2. Notice on operation

(General operation)

1. Once the raw material has been liquefied by the *acid producing bacteria*, *methane producing bacteria* convert the volatile fatty acids into methane gas. Unlike the acid bacteria, methane bacteria reproduce slowly and are very sensitive to changes in the conditions of their environment (*Oxygen content, pH, temperature and raw materials*).
2. Successful digestion for continuous-load digesters depends upon achieving and maintaining a balance between those bacteria which produce organic acids and those bacteria which produce methane gas from the organic acids.
3. Acidity is also important with a desired pH of *between 6.5 and 7.5*. With a low acid content (below 6), the high pH (pH8), the fermentation slows down until the bacteria produce enough acids to restore the balance. Acidity must be checked by watching a pH-indicator in the control panel display at fixed intervals. Otherwise it can be measured by using litmus paper or pH meter.
4. It should be noted that the time in starting the ordinary digester and producing gas can be as long as 2 to 4 weeks. This is because the bacteria will first need time to breakdown the slurry into acids and sugars, before the second group of bacteria which is the gas producing ones, can adjust the carbon/nitrogen mix and the acidity level for reasonable amounts of gas to be produced.
5. Methane (CH_4) is a *colorless, odorless, flammable gas* and the main constituent, 55% to 70% of biogas that we use in our homes in the world.

(Crushing / Slurrifying Process)

1. To provide a homogeneous slurry to digester can efficiency and effectively promote methane fermentation on.
2. Working clothes, safety goggles should be used on all operation works.
3. Provide a good device for transferring a slurry to a plant, which prevents clogging of contents of a slurry in the inside of pump and tube, when a slurry is injected into a plant and a liquid injection apparatus.
4. Check that there is no contamination in raw materials before operating a crusher.
5. Remove metallic, plastic and woody materials from the raw materials, because they can't be used for this methane fermentation system
6. Don't inject raw materials more than maximum permissible doze.

7. Don't inject materials directly by using hands and feet without specified tools (*Very Dangerous!*).
8. It's very important to wash your hands thoroughly with soap and water after operation. If you have putrescent or dirty things on your hands while you are eating, you can get amoebas, dysentery, worms or other terrible illnesses.

(Pretreatment (Solubilization / Hydrolysis) Process)

1. Do not inject a whole amount of slurry at once.
2. Note that high concentration of slurry is dangerous to injection with a pump.
3. Check pH, temperature, amount of slurry (slurry level) in the tank at fixed intervals
4. Check the operation of stirring pump at fixed intervals.
5. Check whether there is a plugging in the tube on pumping of slurry.

(pH Adjustment Process)

1. Working clothes, safety goggles should be used on all operation works. Note that NaOH is a toxic chemical.
2. When the acidity by volatile fatty acid to alkalinity ratio increase, the pH will drop. Check the water level of the NaOH solution tank in the chemical pump to keep enough alkalinity for adjustment.
3. If the pH is brought back up too quickly, it can further shock the bio-system. Never raise or lower digester pH under 6.5 and up to 7.5. A sudden pH decrease on slurry loading can because an upset the bacteria in the digester.
4. Check the amount of solution in alkali tank for pH adjustment every day.
5. It should be noted that the NaOH solution must be prepared and added before the solution is used up.
6. Comply strictly that safety goggles should be used on preparation of alkali solution Alkaline treatment without the goggles is *Very Dangerous!!*.
7. Check whether air plugging is taking place in the tube from alkali sending pump.
8. Cool a preparation tank with water to suppress heat generation on the preparation of alkaline solution.
9. Wash eyes immediately with a large quantity of tap water for long time, when alkali unfortunately gets into eyes.

(Methane Fermentation Process)

1. Fermentation tank(digester) connect with anti- leakage protection device.
2. When handling flammable gases, the danger of explosion is always present. No smoking or sparks can be allowed in the gas handling areas.
3. Before using the fermentation tank according to the voltage of the product, it can be directly connected to leakage protection switch in the fixed-line, And the yellow green double color line firmly grounded.
4. While the digester is working, the electric heat pipe(heater) must remain under the water, not dry electric heating tube. A overheating of electric heat pipe is *Very Dangerous* in a methane fermentation plant. After each use, must be kept the fermentation tank clean, to ensure the quality of fermentation.
5. When cleaning fermentation tank, the water spray rinse should not be used.
6. Acidity(pH) can be measured using litmus paper or pH meter if the pH sensor is broken off.
7. Any kind of petroleum products or chemicals will kill the bacteria that produce the bio-gas. If the tank contains petroleum or chemicals when you add the slurry, no gas will be produced. If you're not sure if the digester is clean enough, smell it. Any chemical smells means that it needs to be cleaned.
8. Don't get a wrong operation timing of the slurry sending pump.
9. Check pH, temperature, slurry level in the tank at fixed intervals. Record production of biogas and pH every day.
10. Check and record biogas composition, concentration of hydrogen sulfide at fixed intervals.
11. Check whether substrate plugging is taking place in the tube from circulating pump.
12. During the processing, scum occurring sometimes happens. They are small bubble-shaped particles in initial stage and grow up finally to more than 10cm of big lumps in some case. Reduce amount of slurry sending when a bubble (scum) is generated in a tank. To reduce scum occurring, prevent oversupply of substrate by keeping the concentration and methanogen activity. Also remove persistent (non-degradable) substrates such as fibers beforehand.
13. Scum is generated when the conversion rate of substrate to methane decrease according to the shortage of methanogen activity and oversupply of materials. A suspension of fibers, glucose, oily lipid and bacteria with biogas makes thickly creamy forms(scum) on the water surface in methane fermentation tank.

(Biogas Cleaning/Upgrading Process)

1. Check bubble from diffusing pipe to prevent plugging by chemical's deposition.
2. Record production of temp. and pH of the solutions every day.
3. More than 100 ppm of H_2S is *Very Dangerous* to human body.
4. When the concentration of H_2S increases to more than 170ppm, people leads to the symptom in one hour. On more than 700ppm concentration they will be immediately suffocated to die.
5. Typical application of H_2S limit on equipment operation may vary depending on manufacturer specifications.
Direct combustion for heat boiler will be effected by < 500 ppm production. Electricity generation (or Internal combustion both heat & electricity) will have the disadvantage on <250 ppm if engine(a cogeneration engine) is used. Turbine Electricity production will also effected on < 1000 ppm. Fuel cell electricity production will limit on trace amounts.
6. Sulfur species in biogas forms sediment in the engine oil. Moreover, sulfur settles in the cylinder head, which may damage valve seats.
7. For stable production of bio-methane with high purity, exchange the solution of ferric chloride ($3\%FeCl_3$) and sodium hydroxide($3\%NaOH$) at fixed intervals.
8. Safety goggles and gloves should be used on the preparation of the and $3\%NaOH$ aqueous solutions .

(Bio-methane Holding Process)

1. Check water level in water bath at fixed intervals to prevent the leak of gas, because the gas holder is not mechanically sealed but floated on the water.
2. Methane can form a highly explosive gas mixture in connection with air.
3. Check the operation of level sensor for gas holding tank at fixed intervals.
4. Check the movement of the tank at fixed intervals, when the compressor is working..
5. Record production of bio-methane by gas flow meter or measurement of holder's moving every day.

(Drying Process)

1. Pull a drain pooled in the bottom of tank at fixed intervals. Otherwise the pressure raises up to dangerous range for the tower because of clogging the tube from the compressor .
2. Note that water scattering on opening the cook of tank bottom on removal of the drain. Use safety goggles and gloves on the preparation.
3. Remove perfectly residual bio-methane by vacuum pump on exchange of drying

chemical(CaO).

4. Check level of moisture content level in the gas at fixed intervals. The most applicable method for detecting moisture is a method using gas detector tube with a gas collection device. As mentioned in e)Biogas Cleaning /Upgrading Process, it is easy for a operator who is unfamiliar with analysis.
5. Karl Fischer titration is normally available for detection of moisture in organic liquids. Infrared absorption measurements of the broad band for water near 3500 cm^{-1} can also sometimes be used for detecting water in non-hydroxylated substances. However, these methods require skill.
- 6.Limestone is the most abundant sedimentary rock and is formed by the compaction of the remains of coral animals and plants on the bottoms of oceans around the world.

(Bio-methane Storage Process)

- 1.Check the purity of bio-methane stored in the tank at fixed intervals. For measurement of the purity a gas-chromatograph is available.
- 2.Watch the action of magnetic valve on running the compressor to send bio-methane from gas holder.
- 3.Record the gas pressure in the tank every day.
- 4.Check and record the purity of bio-methane at fixed intervals.
- 5.Remove completely residual bio-methane in the tank on exchange of activated charcoal.
6. Check the leak of methane at fixed intervals. Take leak-checking liquid or a mixture of soap and water, and leaks will be indicated by streams of air bubbles.
Once a leak has been indentified, repair it soon using appropriate measures.
- 6.Although gas leak sometimes happen in any portion of the system, the leak from the storage tank containing pressurized methane is *Very Dangerous*. In such case a large amount of methane suddenly bows out to increase drastically an atmospheric concentration of methane.
- 7.Methane can form a highly explosive gas mixture in connection with air.
- 8.The complete combustion of 1 m^3 of methane provides about 8570 kcal of heat.

4.Other points

- 1.It should be noted that leachate from raw materials, digestive liquid(slurry) of methane fermentation or aqueous solutions of chemicals may leak out from a fermentation plant to the university campus, particularly trees-lined roads and ponds nearby.
- 2.The food waste of the university cafeteria as raw material should be continuously supplied

every day.

3.It is necessary to check in advance whether the chemicals to use for the plant operation should be kept in the place decided by the regulation of the university. In the case of Nagoya University's regulation sodium hydroxide, ferric chloride and calcium oxide must be stored in a special district division.

第3節 バイオガスプラント、車載用 ANG 燃料タンク、家庭用 ANG ボンベの輸送及びバイオガスプラントの設置

(1)プラントユニットの移送

平成26年1月10日、郵船ロジスティックスタイ事務所により、大学施設内に12月末から仮置きされていたプラントユニットを設置用建屋に移送した。



図 5-73 プラントユニットの移送風景(1)



図 5-74 プラントユニットの移送風景(2)



図 5-75 プラントユニットの移送風景(3)



図 5-76 プラントユニットの移送風景(4)



図 5-77 プラントユニットの移送風景(4)



図 5-78 プラントユニットの移送風景(5)



図 5-79 プラントユニットの移送風景(6)



図 5-80 プラントユニットの移送風景(7)



図 5-81 プラントユニットの移送風景(8)



図 5-82 プラントユニットの移送風景(9)

(2)プラントユニットの設置

建屋に移送したプラントユニットを、固定した鉄製パネルに基づいて、攪拌槽・ミートチョッパー、可溶化槽、メタン発酵槽（第1、第2）、精製槽（第1、第2）、ガスホルダー、乾燥塔及びメタン貯蔵タンク、コンプレッサーの順に設置し、配線を接続した。



図 5-83 各ユニットの電気接続風景(1)



図 5-84 各ユニットの電気系統接続風景(2)



図 5-85 各ユニットの電気系統接続風景(3)



図 5-86 各ユニットの電気系統接続風景(3)



図 5-87 各ユニットの電気系統接続風景(4)

(3)プラントユニットの接続ーガス系流路の接続、スラリー系流路の接続

続いて、プラントユニットのガス系流路の接続、スラリー系流路の接続を行った。固定した鉄製パネルに基づいて、攪拌槽・ミートチョッパーと可溶化槽、可溶化槽とpH調整槽、pH調整槽とメタン発酵槽（第1、第2）、メタン発酵槽と精製槽（第1、第2）、精製槽とガスホルダー、ガスホルダーから小型コンプレッサーを経て乾燥塔及びメタン貯蔵タンク、最後に、メタン貯蔵タンクとコンプレッサーの順に配管を接続した。

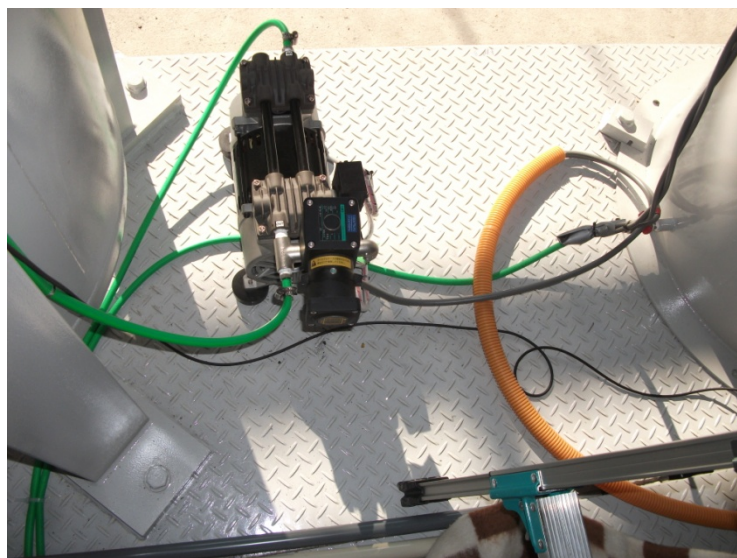


図 5-88 各ユニットのガス配管接続風景(1)



図 5-89 各ユニットのガス配管接続風景(2)



図 5-90 各ユニットのガス配管接続風景(3)

(4)通電試験の実施

各ユニットによる水張り、ヒーターの通電試験を実施した。

(5)連続仮試験の実施ー水による連続運転試験の実施（圧力試験、漏れ試験）

各ユニット間の電気系統接続及びガス配管の接続を終了後、まず、可溶化槽の水張りから始め、発酵槽の水のみによる連続運転を行い、加熱状況、pH 調整状況を確認した。

第4節 バイオガスプラントオペレーション安定のための調整

(1)メタン菌投入の実施

以前の調査で確認してあったノンヌット公園内のメタン発酵槽からの、メタン菌の供与を依頼した。付設のメタン菌（消化液）タンクののうち、より新鮮な消化液（排出後2日）を含むタンクから調達した。



図 5-91 メタン菌の調達風景(1)



図 5-92 メタン菌の調達風景(2)



図 5-93 メタン菌の調達風景(3)



図 5-94 メタン菌の調達風景(4)



図 5-95 メタン菌の調達風景(5)



図 5-96 メタン菌の調達風景(6)

調達したメタン菌（消化液）を第1発酵槽に500L、第2発酵槽に100L、可溶化槽に200L投入した。

(2)原料の投入

1)モデル原料（糖蜜、牛乳、投入、豆腐）の投入

まず、より効果的かつ迅速なメタン発酵を行うため、糖蜜を第1発酵槽（15kg）、可溶化槽（2kg）をモデル原料として投入した。又、第1発酵槽にオレンジジュース（2L、可溶化槽に3.6L投入した。その他、豆腐1.3kg、パームオイル1L、タピオカでんぷん500gを加溶化槽に投入した。

2)食品廃棄物（学生寮食堂廃棄物）の投入

当初、可溶化が完了した後、学生寮食堂から供給された食品廃棄物を2日ごとに60kg/日投入を開始した。食品廃棄物は十分な水分を含んでいたため、粉碎が容易であったが、豚の骨、貝殻、プラスチック容器等が混入しており除去操作が必要であった。最終的には、毎日100kgの原料を投入した。

その結果、バイオガス発生量は、メタン菌を投入し、原料を可溶化槽に送液して1週間保持し、加水分解を進行させた原料（以下、基質と呼ぶ）を発酵槽に一定量ずつ送液を始めた時点で（スタートから20日後）、原料投入60kg/日で予想されるガス量（ 14.4 m^3 ）の15%（ 2.16 m^3 ）までとなった。翌日からは、次第に増え続け、17.6%（ 3.02 m^3 ）、21.3%（ 3.67 m^3 ）、27.6%（ 4.75 m^3 ）となり、メタン菌を投入して約40日後には45.9%（ 7.91 m^3 ）まで増加した。

ガス発生量を増加させるため、1カ月後より、投入原料を100kg/日に増量した。その結果、ガス量は再び増加したが十分ではなかった。効果的にガスを発生させるためには、粉碎・攪拌時に加える水の量を減らして、可溶化槽内の基質濃度を高める必要があるが、濃度が高すぎると攪拌不十分で加水分解が進行しないので、条件の十分な最適化は、今後運転する中で行っていく必要がある。



図 5-97 食品廃棄物（学生寮食堂廃棄物）の投入風景(1)

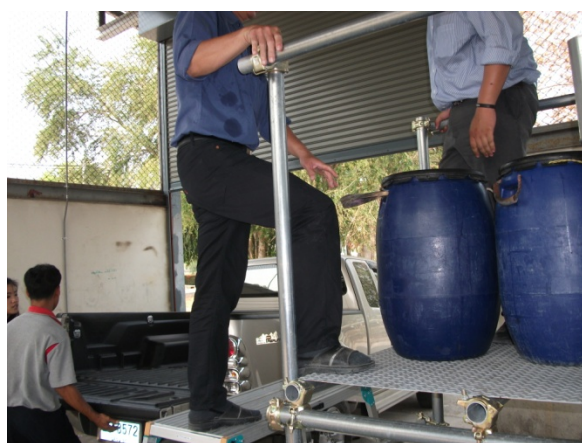


図 5-98 食品廃棄物（学生寮食堂廃棄物）の投入風景(2)

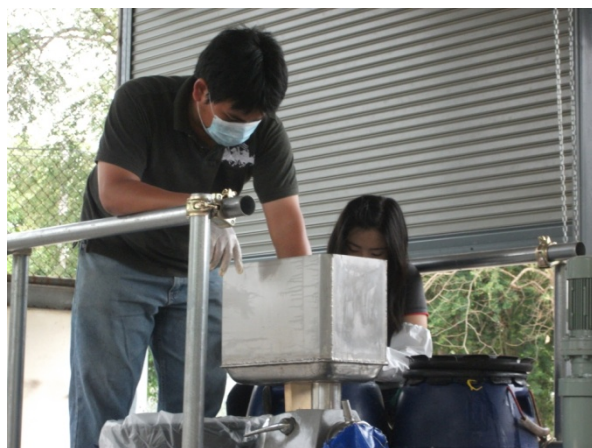


図 5-99 食品廃棄物（学生寮食堂廃棄物）の投入風景(3)

第5節 オペレーション指導

学生とスタッフを対象にして、既に述べたオペレーションマニュアルを用いて、プラントの管理及びオペレーション方法の教育を行った。

各ユニットの前で、マニュアルに記述してある文章の読み合わせを行い、その後、操作方法を具体的に説明した。

操作方法の教育は、基本的な操作方法、操作上のトラブル発生の際の対処方法からなり、各自が自分で操作できる様、説明の後に、学生間で討論を行わせ、操作上のチェックリストを作成させた。



図 5-100 オペレーション指導風景(1)



図 5-101 オペレーション指導風景(2)



図 5-102 オペレーション指導風景(3)



図 5-103 オペレーション指導風景(4)



図 5-104 オペレーション指導風景(5)



図 5-105 オペレーション指導風景(6)



図 5-106 オペレーション指導風景(7)



図 5-107 オペレーション指導風景(8)



図 5-108 オペレーション指導風景(9)



図 5-109 オペレーション指導風景(10)

第 6 節 ANG 家庭用ボンベ使用試験

家庭用 ANG ボンベには、大型（117L）及び小型（24L）の容積中に、活性炭が充填されており、ガスを充填してタイの家庭において燃焼試験を行い、調理等に利用可能かを調べた。

大学付近に居住する E.Kunsombat 氏及び R.Lerkrai 氏の家庭を訪れ、ANG 家庭用ボンベをガスレンジに接続し、調理に利用可能かを調べた。本 ANG 家庭用ボンベについての感想及び今後の希望をインタビューした。

試験を行うに当たり、充填したガスの燃焼性を調べたところ、着火が確認できた。その後、両氏の家庭で小型 ANG ボンベによる燃焼試験を行った結果、レンジの着火が確認できたので、鍋に水を入れ沸騰を試み、成功した。大型ボンベ試験の場合は、台所が手狭で持ち込めなかったため、着火試験のみを行い、成功した。燃焼時間を考えれば、当然大きいボンベが望まれるはずだが、女性をターゲットとする場合は、台

所の構造や面積、重量も考慮し、最適なサイズと形状を引き続き検討する必要がある。



図 5-110 ANG 家庭用ボンベ使用試験(1)



図 5-111 ANG 家庭用ボンベ使用試験(2)



図 5-112 ANG 家庭用ボンベ使用試験(3)



図 5-113 ANG 家庭用ボンベ使用試験(4)



図 5-114 ANG 家庭用ボンベ使用試験(5)

試験後、ANG ボンベの利用についてインタビューした。全般的に、ANG ボンベに対して好意的な印象を持ったように感じた。質問と回答は以下の通り。

(質問 1) あなたはボンベ中のガスの火力は調理に十分なものと思いますか。

(回答) はい、我が家では ANG ボンベを使って調理ができると思います。

(質問 2) あなたは、ANG ボンベを使う場合、無料である事を希望しますか。

(回答) はい、いつも無料のボンベを使いたいと思います。

(質問 3) もし ANG ボンベが有料だとすると、レンタル代はいくらぐらいなら妥当と思いますか。

(回答) 今いくらぐらいとは言えないが、LPG よりは安い方が良いと思います。

(質問 4) もし、ANG ボンベを続けて使う場合、どんなサービスを希望しますか。

(回答) ボンベの配達サービスは必要です。又、大型の ANG ボンベを置いて、調理に利用できるようにして欲しいと思います。

(質問5) もし配達サービスが行われるなら、小型と大型ボンベのどちらを希望しますか。

(回答) 小型ボンベは戸内外での調理に便利ですが、大型は私の家の様に台所が小さい場合は戸外に置いて使用したいと思います。

(質問6) あなたは近所の人に ANG ボンベの利用を薦めますか。

(回答) はい、薦めたいと思います。ただ、どれくらい長く調理に使えるのでしょうか。皆さん、出来るだけ長く使いたいでしょうから。

(質問7) 小型のボンベはあなたが自分で持ち運べると思いますか。ここは平屋ですが、2階、3階にも持ち運び可能ですか(主婦への質問)。

(回答) 重くは感じないので出来ると思います。形も LPG ボンベとほとんど同じですから。

最後の質問は、大学の主婦、女性にも行ったが、全員、持ち運びには問題ないとの意見であった。

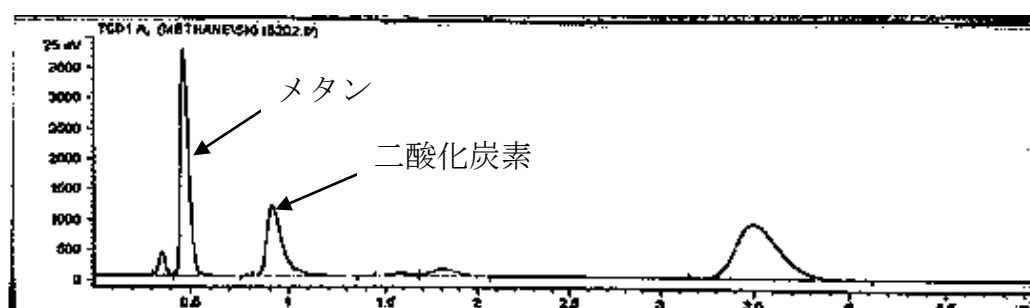
第7節 メタンガス成分分析

(1)ポータブル GC と設置型 GC(HP6890)によるガス分析の比較

(メタン/二酸化炭素組成%)	発酵槽出口	精製槽出口
ポータブル GC	71%/26%	76%/23%
設置型 GC(HP6890)	76%/24%	80%/20%

ポータブル GC と車載用 ANG 燃料タンク分析結果は、良く一致したので、今後は、バイオガス及びバイオメタンのメタン濃度は、ポータブル GC で分析が可能である事が分かった。

その後のポータブル GC によるバイオメタンのメタン/二酸化炭素濃度は、(1日目) 79%/21%、(2日目) 85%/15%、(3日目) 88%/12%と、次第メタン濃度が高くなっていった。



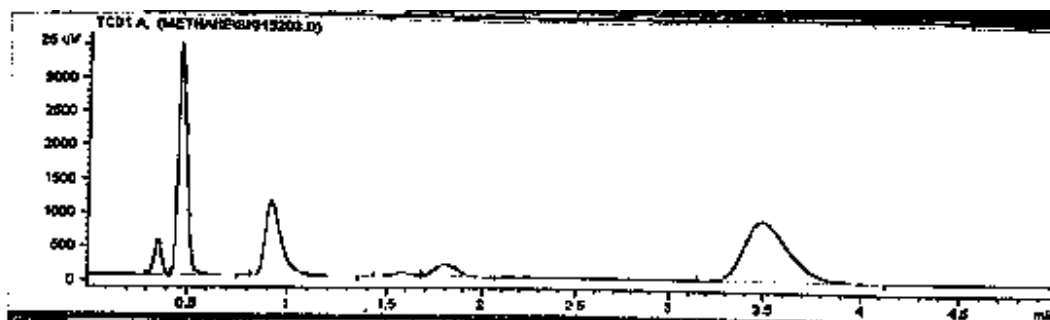


図 5-115 設置型 GC のクロマトグラフ

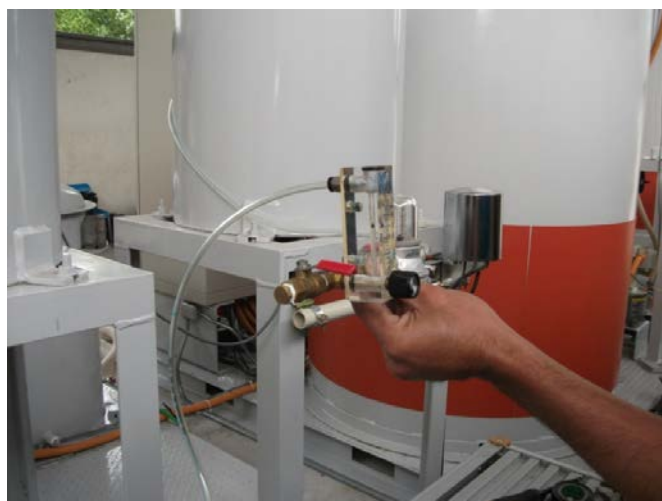


図 5-116 ポータブル GC によるメタン濃度分析風景(1)



図 5-117 ポータブル GC によるメタン濃度分析風景(2)



図 5-118 ポータブル GC によるメタン濃度分析風景(3)

(2)硫化水素濃度の測定

バイオガスの精製効果（硫化水素の除去効果）を調べるため、ガスケット社製ガス検知器並びに硫化水素測定用検知管を用いて、発酵槽出口と精製槽出口の硫化水素濃度を測定した。その結果、発酵槽出口では1 2 0 0 ppm 存在した硫化水素は、精製槽出口では2 ppm に除去されている事が分かった。



図 5-119 ガス測定用検知器（下図）と硫化水素検知管（上図）

第8節 臭気対策及び安全対策

(1)臭気対策

攪拌槽における原料投入の際の臭気は、本プラントで最も除去対策が求められる。そこで、攪拌槽にプラスチック製カバーを設置し、十分に密閉した結果、臭気が感じられない程度に軽減された。

又、可溶化槽及び pH 調整槽からの臭気については、臭気の出口にホースをつなぎ、建屋外部に誘導する事で解決できた。



図 5-120 臭気対策－ポータブル GC による臭気分析風景

硫化水素による臭気対策は、ガスの閾値（臭気が感じられる濃度）が低いので、密閉系を破らない様にする事が大切である。

(2)安全対策

プラントを安全に運転するため、種々のガス発生及び電気系統故障による発火に十分な対策をとっている。

まず、当然の事ながら、メタンと言う爆発性ガスを取り扱っているので、禁煙には特に注意を払い、ポスターを各所に張っている。メタンガスの漏洩に備えて、メタン警報器を設置している。

又、硫化水素は人体への影響が大きいので、その濃度を（2）で示した方法で、定期的に測定し、漏えいの有無をチェックしている

更に、スパーク、ショート等による引火、爆発を防ぐため、水の懸りそうな場所への禁水対策を施している。

ガスの滞留は極めて危険であるため、風通りをよくしている事は言うまでもない。

第9節 液肥利用

メタン発酵で生成する消化液を液肥として利用できるか確認するため、ナコンナヨク県 Khundanland の農場（Khundan Organic Farm Learning Center）を訪れ、栽培作物に液肥として有効であるか、試験を行った。

Khundanland 農場は、210万 m^2 の広大な土地を有し、あらゆる作物を栽培しているが、今回は、イチジク（タイ産と日本産）を栽培する温室を訪れ、液肥としての効果を調べる事にした。イチジクは各温室（5m x 25m）に各120本、5温室で合計600本栽培されている。ただ、効果が表れるには2か月を要する。そこで、消化液を40%と200%に希釈し、散布した。



図 5-121 本プラントで生成する消化液



図 5-122 消化液の積み込み(1)



図 5-123 消化液の積み込み(2)



図 5-124 Khundanland の農場付近(1)



図 5-125 Khundanland の農場付近(2)



図 5-126 消化液の希釈状況



図 5-127 消化液の散布状況(1)



図 5-128 消化液の散布状況(2)



図 5-129 栽培されているイチジク(1)



図 5-130 栽培されているイチジク(2)

又旧知事邸の農園（Cholapruek Resort Hotel の近隣）も訪れ。40%に希釈された消化液を散布した。



図 5-131 旧知事邸の農園(1)



図 5-132 旧知事邸の農園(2)

ナコンナヨク県では、化学肥料による液肥（価格 30～50 THB，200 倍に希釈）を散布しているが、農民の健康問題及び経済的問題を考慮すると、消化液の液肥利用をもっと積極的に推進すべきである。通常、液肥中にはリン、窒素、カリウムが含まれているが、使用に当たっては、消化液中に十分な濃度でこれらの成分が含まれている事が確認されれば代替が可能となる。

仮に利用できるとすると、原料投入量 6 t/日の実機からは 6000 L/日の消化液が得られるので、多大な経済的効果が予想される。

$$60,000 \text{ L/D} \times 40 \text{ THB} \times 3.14 \times 365 = \text{¥} 275,064,000$$

第10節 ANG 車走行試験

名古屋大学では、ANG 低圧貯蔵タンクの応用例として、学生食堂から排出される食品廃棄物から生成したメタンガスを燃料とし、ANG バイオメタン自動車（図5-143）で学生食堂からバイオガスプラントまでの食品廃棄物運搬を行っているが、ナコンナヨクでは走行試験を平成26年3月10日に実施した。タイの政情不安の影響もあり、予算執行が遅れたため納車が遅れ、走行試験がぎりぎりになってしまった事が残念であった。この自動車は活性炭を詰めた燃料タンクを搭載しており、貯蔵されたバイオメタンを燃料として走行する。従来の CNG 自動車のような高圧（20 MPa）の燃料タンクではなく、タンクのメタン充填圧力は1 MPa 未満である。



図 5-133 走行試験に用いた ANG バイオメタン自動車

現在、名古屋大学では活性炭を含めた吸着剤の吸着能改善研究を進めており、大気圧下でのメタンガス貯蔵体積と比較し、1 MPa で吸着剤体積（貯蔵タンク容積）の200倍のメタンガス貯蔵を目指している。実現すれば、走行距離を CNG 車と同じにまで延ばす事ができ、ANG バイオメタン自動車の実用化への道が現実のものとなると期待される。



図 5-134 バイオメタン自動車用貯蔵タンク



図 5-135 車載用 ANG 燃料タンクを荷台に搭載した TOYOTA Hi-Lux (LPG 仕様車)

図 5-140 のピックアップカーは食品廃棄物や液肥の運搬に使用する目的で導入され、名古屋大学が設計した低圧 ANG 燃料タンクを搭載し、走行試験を行った所、問題なく走行した。



図 5-136 燃料タンク内圧力(0.6 MPa) 図 5-137 走行により圧力低下(0.5 MPa)

第 1 1 節 経済性評価と普及

(1)普及のための経済性評価

本バイオメタンエネルギーシステムを現地で普及させるため、ナコンナヨク県やエネルギー省と協議し、シミュレーションを行い、その結果を基に、プラント操業の経済性を評価した。

具体的には、シーナカリンウイロート大学に設置している現プラント（原料処理量 600 kg/日）の運転結果を基に、処理量 6 t/日の実機スケールプラントを製造・設置して運転する場合を想定して行った。名大システムベンチスケール実験成果と実機スケールの試算を繋ぐため、今般、タイでスタートしたパイロットスケールプラントによる実証プロジェクトの成果は、タイへの普及事業を進めるために重要な意味を持つと考えられる。

(2)バイオガス発生量の推定

バイオガスの発生量は、名古屋大学で恒常的に計測できるデータから試算したが、投入基質によって変動がある。食品廃棄物には何が入っているかわからないので、あくまで投入基質も含め安定的なオペレーションを行える事が前提の試算となり、事業化の際は、ガス発生量は何割も減少した時のリスクを考えておく必要がある。

- ・ 運転スケール（原料処理量：6 t/D、乾燥重量：1 t/D）
- ・ VS 分解率を 90 % と仮定
- ・ ガス発生率（Nm³/kg）：0.89
- ・ 分解有機物量（V_s：kg/日）：851
- ・ メタン濃度を 65 % と仮定（ナコンナヨクの実績値）

- ・ バイオガス発生量 ($\text{Nm}^3/\text{日}$) = 分解有機物量 ($\text{Vs} : \text{kg}/\text{日}$)
 $\times \text{Vs 分解率} \times \text{ガス発生率} (\text{Nm}^3/\text{kg})$
- ・ メタン発生量 ($\text{Nm}^3/\text{日}$) = バイオガス発生量 \times メタン濃度 (GC分析により、65%と想定)
- ・ 固定床メタン発酵導入による推定発生量：バイオガス $681.65 \text{ Nm}^3/\text{日}$ 、
 バイオメタン $443.07 \text{ Nm}^3/\text{日}$

(3) エネルギー生産量の推定

日本とタイで製造・設置するプラントに使用するユニット及び部品の機能、ガス発生効率等は同等と想定して推定した。

- ・ 発生バイオメタン重量：バイオメタン発生量 $443.07 \text{ Nm}^3/\text{日} \times 0.717 \text{ kg/Nm}^3 = 317.68 \text{ kg/日}$
- ・ エネルギー生産量：バイオメタン重量 $317.68 \text{ kg/日} \times \text{高位発熱量} 55.3 \text{ MJ/kg} = 17,583.59 \text{ MJ/日}$
- ・ ガスエンジン発電効率：30%
- ・ 推定発電量：エネルギー生産量 $17,583.59 \text{ MJ/日} \times 0.3 = 5,275.08 \text{ MJ/日}$
 $5,275.08 \text{ MJ/日} \div (24 \times 60 \times 60) = 61.05 \text{ kW}$
 $61.05 \times 24 \text{ h} = 1,465.2 \text{ kWh}$

(4) 収入見込み バイオメタン発電による売電の場合

- ・ バイオメタンの発電効率： $1,465.2 \text{ kWh} / 443.07 \text{ Nm}^3 \text{CH}_4 = 3.31 \text{ kWh/Nm}^3 \text{CH}_4$
- ・ 固定価格買取制度によるバイオマス（メタン発酵ガス化バイオマス）電力の
 買い取り価格：6.3548 THB (19.95円)
 (参考：日本の場合) 39円/kWh
- ・ 電力売価（固定価格買取制度）のバイオメタン発電換算：
 19.95 円/kWh 、
 $19.95 \text{ 円} / 0.3 \text{ Nm}^3 \text{CH}_4 = 66.5 \text{ 円/Nm}^3 \text{CH}_4$
- ・ バイオメタン電力買い取りにより見込まれる収入：
 $66.5 \text{ 円/Nm}^3 \text{CH}_4 \times \text{バイオメタン発生量} 443.07 \text{ Nm}^3/\text{日}$
 $= 29,464.16 \text{ 円/日} = 10,754,416.57 \text{ 円/年}$

(5) 実機 (6 t/日) ベースでのコスト試算

- ・ 6 t/日スケールの装置と仮定 (原料投入量：6 t/日、乾燥重量：3 t/日)
- ・ 製造・設置費：

- (中国で製造・タイで設置) 30,000,000円
- (タイ、中国、日本で製造・タイで設置) 30,035,000円
- ・ユニット内訳：粉碎・攪拌機、可溶化槽、pH調整槽、1次発酵槽、2次発酵槽、ガスホルダー、第1精製槽、第2精製槽、コンプレッサー、乾燥塔、貯蔵タンク、コントロールパネル各1式)
- ・薬品費：(バイオガス精製用 $\text{FeCl}_3/\text{NaOH}/\text{CaO}$ /活性炭)
1,218,493円 (388,055THB x 3.14)
- ・人件費：904,320円/年 (288,000THB x 3.14)
(2人、12,000THB /月/人)
- ・管理費：(20% x 人件費)
180,864円
- ・利息 (3% x 製造・設置費)：
(タイ、中国製のみ使用) 900,000円/年
(タイ、中国・タイ・日本製使用) 901,050円/年
- ・電力料金：消費電力900kWh/日として (0.6t/日スケールプラント実績より推定)
4,951,152円/年 (900kWh /日 x 365日 x 4.80THB / kWh x 3.14)
- ・発電機 (新規購入)：(日本製と仮定) 4,200,000円

(6) 実機運転を想定した経済性評価 (年間運転の場合)

タイで6t/日の実機スケールの製造・設置・運転をし、メタンガスにより得られる電気を固定価格買取制度に基づいて買い取りを受ける、売電方式で収入を得ると想定すると、年間の売電収入はランニングコストを上回るが、一般的なガス設備の耐用年数15年で減価償却を考えると、6t/日規模のプラントではなく、数十t規模のプラント導入が望ましい。初期投資額の割には純利益の増大と、初期投資回収年数の大幅な短縮が見込まれるからである。

又、ナコンナヨク県がごみ処理費用に関するデータを持っていないため、ここでは投入した食品廃棄物を焼却等した場合の処理費は計算に入れなかった。更に詳細調査が必要な液肥販売による利益も計算に入れなかったが、実際に事業を行う際には、いずれも増収に貢献するファクターとなる。前知事は液肥と家庭用 ANG ボンベの販売を組合に任せ、推進して行きたいという強い希望を表明していた。とかく発電事業にばかりスポットライトが当たりがちだが、生成したバイオメタンのガスのままの有効利用も、エネルギー政策とともに検討すべきである。今回は単純にバイオメタンの全てを使って発電し売電するという仮定の下経済性評価を行ったが、事業化の際には、一

部はガスのまま、残りは電気として利用する場合のシミュレーションと、生産電力の全てを売電せず、バイオガスプラント運転の電力を賄うという2つのオプションについての試算も必要である。

最後に、タイの場合、現時点ではバイオマス発電の売電価格が低く抑えられているが、エネルギー政策が変わり、仮に日本並みの価格に引き上げられた場合、タイでのビジネスチャンスは格段に大きくなる。タイのエネルギー省は、少なくとも10年以内に25%の化石燃料を再生可能エネルギー等で代替する政策を打ち出し、エネルギー産業の発展を奨励している。

表5-6 実機運転を想定した経済性評価

仁シアルスト	総ランニングコスト (電力料金込み)	ランニングコスト (電力料金以外)	消費電力 (kWh)	電力料金 (円)	生産電力 (kWh)	余剰電力 (kWh)
(円)	(円)	(円)	(kWh)	(円)	(kWh)	(kWh)
(発電機以外中国製のみ使用)						
34,200,000	8,154,829	3,203,677	328,500	4,951,152	534,798	206,298

表5-7 全量売電する場合の年間収益の試算

タイ	
収益 (円)	10,754,417
支出	8,154,829
純利益	2,599,588

第6章 成果

第1節 技術的成果

- (1)名古屋大学では3年半にわたってバイオメタンエネルギーシステムのオペレーションを行ってきたが、本システムの利点を活かして実機サイズのプラントを建設運転するには、大学にあるラボスケール（原料投入量3 kg/日）をよりスケールアップした中間スケール（パイロットスケール：数百 kg/日投入）のプラントの建設と運転が必要であった。今回、パイロットスケールのプラント運転でも、大学プラントと同様のガス生成量とガス組成を有するバイオメタンが得られる事が明らかになった。これで実機スケールのプラント操業への目処がついたと考えられる。
- (2)本成果を基にして、同システムをタイや中国で製造・設置する場合のシミュレーションを行い、その経済性効果を評価した事により、タイでも十分経済的に成り立つ事が分かった。タイで本システムを用いたプラントを製造・設置する事により、未利用資源のエネルギー利用が促進できると考えられる。
- (3)一方で、本システムは、本来、分散型エネルギーシステムとしても利用が可能であり、投入原料数十 kg から数十トンまでの多様なプラントとして、エネルギーを必要とする国での活用が出来ると確信された。今後は、小組織あるいは自治体レベルでのプラント運転によりエネルギー有効利用を進めてゆきたい。
- (4)発酵後発生する消化液は、未利用の場合は、廃液処理を行い、十分に安全な COD、BOD レベルに低減した後廃棄する必要がある。しかし発生する膨大な量の消化液を考えると、より効果的な排水処理法が求められ、その経済的、技術的な解決が求められている。しかし、今回、バイオガスプラントから離れた有機農園等で希釈した消化液の散布を実施し、有機栽培肥料として有効利用が可能である事が分かった。これにより、タイあるいはその他の国々で、未利用食品・農産廃棄物をメタン発酵でエネルギー化するとともに、作物栽培に安価で安全な液肥肥料の供給が可能であるとわかった。
- (5)家庭用ポンベの試験を行う事で、ANG タンクを一般家庭で調理に活用できる事が分かった。大学付近に居住する2氏の家庭での ANG 家庭用ポンベのガスレンジ接続、調理について感想及び今後の希望をインタビューした結果、今後、家庭調理用として ANG ポンベを普及できる見通しがついた。
- (6)走行試験により、ANG 燃料タンクを搭載した自動車の走行が可能である事が分かった。現在、名古屋大学で ANG 燃料貯蔵タンクの改造およびメタン吸着剤の改質を検討中であり、その進展により CNG 車に並ぶ性能が得られると期待される。

第2節 教育的成果

- (1)本システムに基づいたプラントの運転方法及び問題発生時の解決方法を、装置を設置したシーナカリンウイロート大学オンカラック校の若手研究者及び大学院生に教育した結果、タイでの運転操業を連続的に行う事が可能となった。
- (2)大学食堂の食品廃棄物を用いて高純度のバイオメタンが製造可能である事を教育した結果、タイでの未利用資源のエネルギー活用必要性を認識させる事ができた。彼らは、この後、本県のみならずタイ国内において廃棄物のエネルギー化技術を促進するリーダーとなる可能性がある。

第3節 事業的成果

政情不安のため、設置が遅れ、1月半ばにオペレーションを開始したにもかかわらず、ホテルや有機農園等から多数の見学客が訪れ、3月7日と3月8日の2回、テレビ(CH3)で本プラントが紹介された。早くも2号機導入の話しが浮上し、来年度は普及セミナー等を計画中である。

第7章 今後の課題

第1節 技術的課題

パイロットスケールでの本システムは、安定的運転は可能であるが、未だ完全には自動化ができていない。特に各種溶液の自動交換等、実機スケールに必要な自動化技術を、今後検討する必要がある。

又、装置の状態を把握し、適切な処置が行えるリモートセンシングやそれを更に進めたリモートコントロール技術も、是非導入してゆきたい。

更に、管理の簡便化と運転経費の節減のため、ガス精製方式の湿式から乾式への変更も検討したい。ただし精製法は、効率も重要であるため、コストだけで決める事はできない。

最も重要な課題は、ANG 貯蔵タンクに充填するメタン吸着剤（本プラントでは既製品の活性炭を使用）のメタン吸着能力を高める事である。活性炭を貯蔵タンクに充填すると、大気圧下で貯蔵した場合と比べ、1 MPa で活性炭体積（貯蔵タンク容積）の50倍のメタンガス貯蔵が可能である。名古屋大学では活性炭を含めた吸着剤の吸着能改善研究を進めており、1MPa で吸着剤体積の200倍貯蔵を目指している。実現すれば、走行距離を CNG 車と同じにまで延ばす事ができ、ANG バイオメタン自動車の実用化への道が現実のものとなると期待される。

第2節 事業化・普及への課題

本システムを事業化するためには、ゴミの分別と食品廃棄物の収集方法がハードルとなる。ナコンナヨク県では、既に家庭用生ゴミの分別キャンペーンを開始し、再生可能エネルギーについての理解を深めてもらうための県民教育を行っているが、ハードルを低くするためには、食品廃棄物以外の基質の採用を検討すべきである。農産廃棄物、蓄糞、非食用海藻等、地域によって入手が容易な基質は異なるため、最適な前処理方法も検討しなければならない。

又、普及のためには安定的なオペレーションやメンテナンスができるエンジニアの教育も欠かせない。

当然の事ながら、システムの更なる効率化、低コスト化は永遠の課題となる。

政情不安の中、経済産業省の支援により、数々の困難を克服し、事業化へと一步を踏み出す事ができた。ナコンナヨク県前知事が掲げた理想、即ち、人民に奉仕する国と人々への感謝の気持ちを忘れず、研究開発と同時進行で、スマートシティ構想実現のための、より洗練されたバイオメタンエネルギーシステム構築と普及に邁進したいものである。