

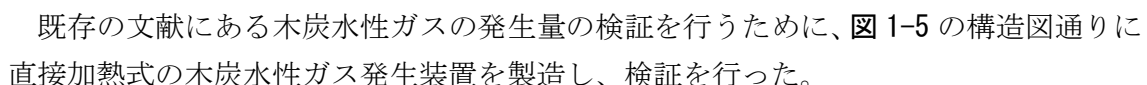
2. 事業の実施内容

2-1. 木炭水性ガス反応

- (1) 木炭($3C_{10}H_5O+C_{30}H_2OO_3$)は炭化温度により元素組成は変化するが炭素分約98[%]以上と 考えられる。
- (2) 木炭水性ガス反応は、初期水性ガス反応 ($C+H_2O\rightarrow CO+H_2$)、シフト反応 ($CO+H_2O\rightarrow CO_2+H_2$)、ボウダード反応($C+CO_2\rightarrow 2CO$) から構成されている
- (3) 木炭の主要成分炭素 (C) の燃焼によるエンタルピー減少(－表示は発熱反応)値は熱力学的基準状態 (298.15K 101.3kPa) において次のようになる (架谷・木村, 燃焼の基礎と応用)。
 - ① $C+O_2=CO_2$ $\Delta H_{f0,298}=-393.5[MJ/kmol]$
 - ② $C+1/2O_2=CO$ $\Delta H_{f0,298}=-110.5[MJ/kmol]$
- (4) また、上述の木炭水性ガ反応におけるエンタルピーの変化は次の通りである。
 - ① $C+H_2O\rightarrow CO+H_2$ (吸熱反応：エンタルピー減少, 131.3[MJ/kmol])
 - ② $CO+H_2O\rightarrow CO_2+H_2$ (発熱反応： エンタルピー減少, -41.2[MJ/kmol])
 - ③ $C+CO_2\rightarrow 2CO$ (吸熱反応：エンタルピー減少, 172.5[MJ/kmol])
- (5) 木炭水性ガスによる非エンジン式発電の高効率化を狙い、 H_2 の濃度を理論値の60[%]に近づけるためには、(4)の①～③の反応を安定的に維持する必要がある。
- (6) 吸熱反応に必要なエネルギーを還元層に注入する高温水蒸気の潜熱でより多く補い、酸化層における木炭の燃焼により供給されるエネルギー量を低減する制御が必要になる。これは NO_2 分圧の低減を視野に入れてのことであり、その究極策が前項である。
- (7) 本事業では、 NO_2 分圧低減の絶対的対策から、木炭水性ガス発生装置における還元層の加熱方式を間接加熱式として開発を行い、従来の直接加熱式との比較を行うこととした。

2-2. 木炭水性ガス発生装置の製作と特性確認実験

2-2-1. 既存の装置 (直接燃焼式) での木炭水性ガスの発生実験

既存の文献にある木炭水性ガスの発生量の検証を行うために、の構造図通りに直接加熱式の木炭水性ガス発生装置を製造し、検証を行った。

直接加熱式では、その構造上水の投入を微量にしなければならないため、写真 1 のようなロート状の投入口に点滴する注入方法を取る。また、水性ガスの発生と共に酸化層燃焼の際に発生する微量の粉塵を除去するフィルターを取り付ける必要がある。このフィルターは 1 次フィルターとして、格子状のステンレスのメッシュフィルターを取り付け、2 次フィルターとして、既製品のトラックのエンジンフィルターを用いた。



写真1：直接燃焼式木炭水性ガス発生装置・水投入部



写真2：同装置・水性ガス粉塵除去フィルター

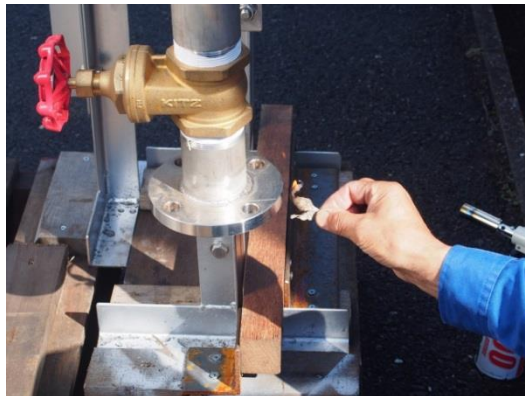


写真3：水素の発生を確認

2-2-2. 間接燃焼式木炭水性ガス発生装置の設計・製作

既存の直接加熱式木炭水性ガス発生装置の実績値を元に、必要な分（燃料電池ユニットの吸引力）だけガスを発生させる仕組みとして、間接燃焼式の木炭水性ガス発生装置の設計・製作を行った。

なお、運用にあたり万全を期すため、安全管理マニュアルを作成した。資料②として別添する。

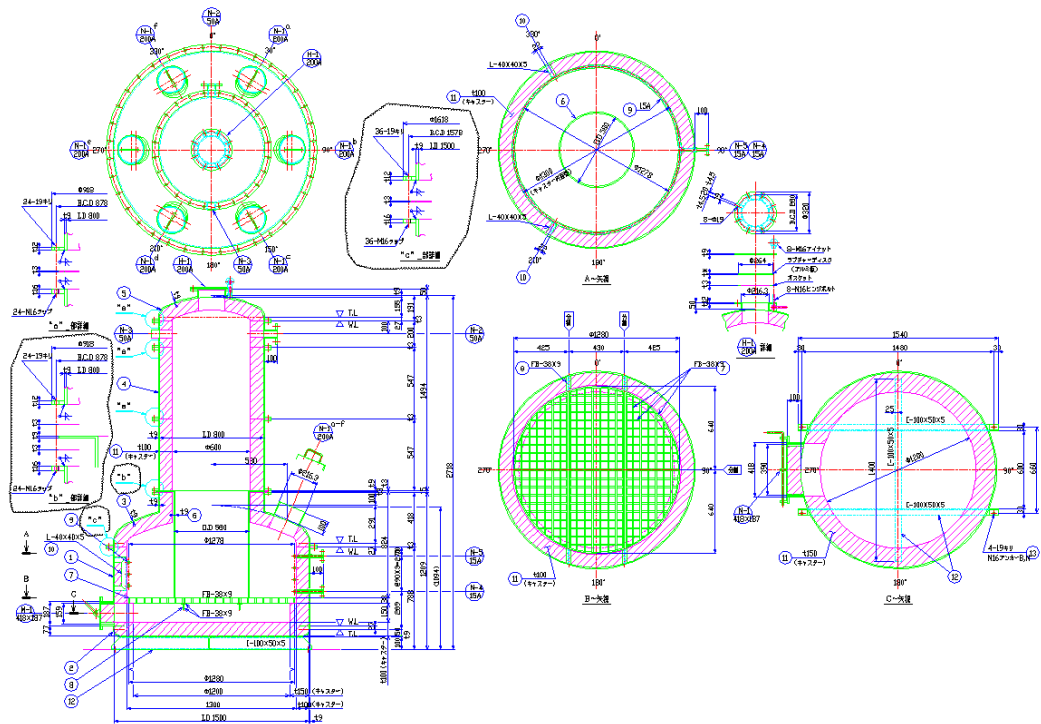


図 2-1：間接燃焼式木炭水性ガス発生装置設計概略図



写真 4：製作状況①（酸化層内部還元層取付）



写真 5：製作状況② 全景

2-3. 発生した水素ガスの小型燃料電池への供給・検証

2-3-1. 改質装置の設計

申請時には、既存の都市ガス用小型燃料電池（固体高分子型・1[kW]クラス）に木炭水性ガスを成分調整しガス供給・発電を行う予定であったが、小型燃料電池取扱事業者 E 社に問い合わせたところ、現在都市ガス仕様の燃料電池においても製品を改良中であり、新規の技術に対応する余裕がないということで既存製品の購入及び改良ができなくなった。このため、木炭水性ガスでの発電に対応できる固体高分子型の小型燃料電池について、燃料電池の開発を行っている R 社と共同開発を行い、図 2-2 に示すシステムに改良し、水性ガスの発電を検証することとした。



写真 6：固体高分子型燃料電池・改質装置製作状況

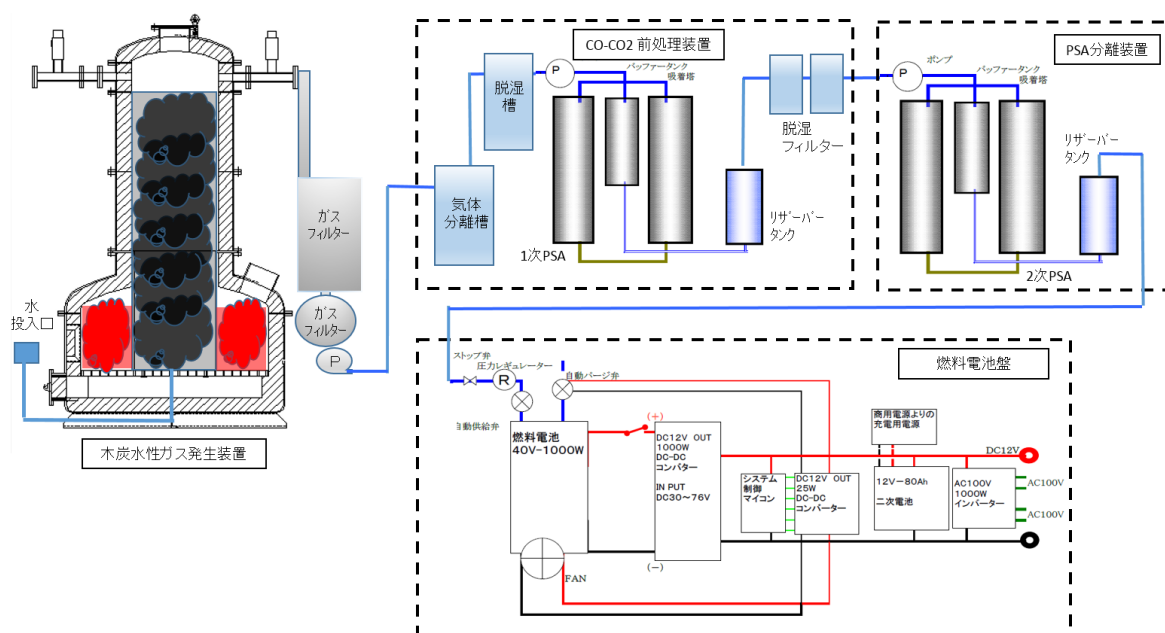


図 2-2：木炭水性ガス発電システム系統図

木炭水性ガス対応 燃料電池電源システム仕様		
燃料電池	燃料電池定格出力	700W
	燃料電池瞬間最大出力	1000W
	定格出力時	40V-25A
	アノード側燃料	水素98%以上
	カソード側ガス	空気
	MEA指向性	アノード上面
	使用環境温度	5~55℃
	水素供給圧力	0,03~0,08Mpa
	カソード側ガス供給	ブローによる送気 4基
	加湿方式	自動膜内加湿
	電源入力	燃料電池システム起動用DC24V
燃料供給・排出	水素圧カレギュレーター	0,04~0,1Mpa
	自動水素供給バルブ	1台
	自動排気パージバルブ	1台
電力変換	DC-DCコンバーター	最大出力1000W
		定格出力700W
		入力電圧DC24~DC60V
		出力電圧DC12
	出力電圧可変範囲DC12±2V	
	二次電池	12V-80Ah (12V-40Ah 2直)
蓄電容量960Wh		

図 2-3 : 燃料電池電源システム仕様

水素精製システム仕様			
水 素 精 製 装 置	CO ₂ 沈殿塔	ガス導入	マイクロバブル式
		沈殿剤	水酸化カルシウム水溶液
		容積	10NL
		安全弁動作圧力	1MPa
		気液分離①	#100 SUSメッシュ
		気液分離②	セラミックフィルター
		水分除去装置	シリカゲル塔
		容器材質	SUS製
	CO変成塔	触媒仕様	ビーズ状Ru触媒
		容器材質	SUS製
	水素分離PSA	分離方法	Swing式 PSA方式
		吐出水素純度	98%以上(目標値)
		水素分離モレキュラ	特殊合成ゼオライト
		最大水素吐出量	10NL/min
		吸着塔	2基
		バッファータンク	1基
		ダイヤフラムポンプ	2基
		圧力レギュレーター	各キャニター毎にカプラ
		流量調整ニードルバルブ	電解装置保護用逆流防止弁
		最終水素濾過フィルター	4Aモレキュラシーブ
外部インターフェイス		精製ガス流量	
		精製ガス圧力	
	入口ガス温度		

図 2-4 : 水素精製 (改質) システム仕様)

2-4. 各地における炭窯の調査

実装地である生出地区の文化ならびに生活習慣に強く関係してきたものとして、踏鞴製鉄（天保時代）以来存在した『製炭業』があり、地域産業の中核をなしてきた。しかしながら少子高齢化の傾向も強く、現状では製炭業に必要な地域労働力確保に困難をきたす。また、他産業に比べ、製炭作業における立て込み・窯出し時の労働環境面に劣性を有している。そこで、製炭における労働環境改善と省力化を図ることを課題とし、国内における大型製炭窯等の事例調査を行い、本システムに活用できる炭窯の形式を検討することとした。

2-4-1. 大型炭窯の調査

① 北海道下川町 下川町森林組合大型窯視察（平成 25 年 8 月）

屋内に置き型で設置されており、全天候に対応している。設置場所選択の際に自由度が高い。現存の汎用技術で容易に設計製作可能であり、窯の内壁の耐火煉瓦部については劣化した箇所を部分的に修復することも可能となっている。

最大の特色は、立て込み・窯出しにトロッコ型のコンテナ台車（写真 9）を使用し、作業が半自動化されていることである。このコンテナは定期的に更新でき、維持管理が容易で作業性が高いと考えられる。

他方、窯の形が直方体型であり、炭材を積載したコンテナを入れた際、炭材群と窯内壁間に隙間が存在してしまうことにより窯内高温気流の熱的不均一性が大きいものとなる。そのため、内壁の部分的な傷み・破損性が高い。また、その分できあがった炭もバラつきのあるものとなっている。立て込み時の炭材の長さ・径には制限があるため、ある程度の前処理が必要と思われる。

本事例の窯は北海道に設置されており、集材される木材は全て広葉樹である。本事業では人工林であるスギの間伐を主な炭材としていることを念頭に、実装地に適した炭窯の形式を検討する必要がある。



写真 7：炭窯の入口



写真 8：窯の内壁
（所々傷みが見られる）



写真 9：コンテナに搭載
された炭材

② 岐阜県恵那市 奥矢作森林塾（平成 25 年 11 月・平成 26 年 1 月）

燃焼（焚き込み部）が独立している大型窯であり、乾燥工程の火力調整（燃焼物の投入）が容易な構造となっている。グラップルを取り付けた重機を用いて立て込みを行っているため、人力の手動による従来の立て込みと比べて作業が容易である。また、長尺・大径木の前処理が不要であり、集めた材はほぼそのまま窯に投入できる。

他方、本体は重量物であり、地面を掘り下げていることから、設置場所は地耐力がある場所を選定するか、地盤の改良を考慮する必要がある。また、窯の内壁は耐熱鉄筋コンクリートであり、部分修復が困難である。そのため定期的な全体更新が必要となり、維持管理の費用が大きくなることが考えられる。

また、本窯の炭材はダムへ流入する流木であり、窯の設置目的は流木処理（＝廃棄物処理）であることを考慮する必要がある。

専用機材の整備を前提とするものの、従来の炭窯では人がかがんだ状態で窯内に入って立て込み作業を行わなければならないのに対し、作業が機械化されて容易性に富む。ただし、特に窯出しの際に被せた砂を取り除く作業等においては必ずしも作業環境性が良いとは言えない（写真 12 の砂埃を参照）。



写真 10：重機での立て込み



写真 11：焚き込み部の様子



写真 12：窯出しの様子①
（上蓋の上に被せた砂を取り除く）



写真 13：窯出しの様子②
（鉄蓋を開ける作業）

2-4-2. 中規模窯連携システム・従来式大型窯の調査

① 栃木県芳賀郡市貝町 片岡林業多連窯（平成 26 年 2 月）

大谷石を使用した窯で、計 5 基の窯を順繰りに回して生産している。1 窯あたりの製炭量は約 500[kg]であり、月に 2 度まわせる。実際には休みも入るため、年間の生産量は約 40[t]とのことである。歩留りは 20%を目標にしているが、現状ではおよそ 16～17[%]。常時 3 人が作業している。また、生産された炭は『下野菊花炭』というブランドで茶道用の炭として高価で販売されている。

大谷石は、住宅の塀として使われていたものを中古にて利用したため、1 本（91cm×30cm×15cm）500 円程度であったとのこと。これを 15 俵窯で 30 本程度使用している。水分調整の面で良い働きをすること・比較的安価に窯が設置できること・窯の形式に応用がきくこと等、参考になる箇所が多い。



写真 14：窯建設状況（大谷石利用）



写真 15：大谷石製内壁の粘土養生



写真 16：脱着可能な窯上蓋



写真 17：上蓋装着後保温用土（粘土質）養生



写真 18：窯密封状況



写真 19：作業用グラップル



写真 20：下野菊花炭

② 岩手県九戸郡九戸村澤口氏の窯（平成 26 年 2 月）

円形の窯であり、大きな鉄蓋により上部開閉式となっている。元々鉄工所であったため、クレーン等の設備が既があり、重い鉄蓋の開閉が行える状況にあった。炭窯は高温になるため、通常の鉄板では1回炭焼きを行うだけで変形してしまうが、蓋の厚みや蓋内部の構造を工夫し、長期にわたる使用を可能としたとのことである。

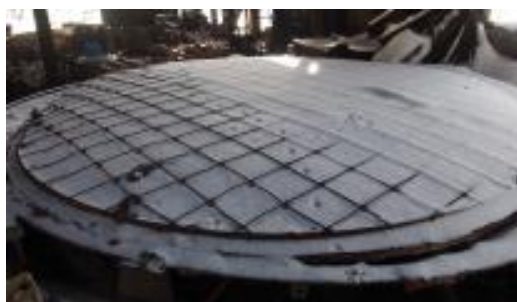


写真 21：窯上蓋部



写真 22：窯内部全景

③ 岩手県葛巻町葛巻森林組合百俵窯（平成 26 年 2 月）

岩手県内最大級のサイズの炭窯であり、従来のように人力により立て込みを行う。



写真 22：立込み完了状況



写真 23：立込み完了状況

2-4-3. 炭窯調査のまとめ

新たなシステムを考えるにあたり、作業の半自動化は重要なポイントである。

本事業で実際に現地調査を行った炭窯の他、岩手県木炭協会指導による岩手大量窯も加えた比較を3-4-1項で考察する。