

木質燃料の有効利用に関する研究

清 藤 純 一 浜 石 和 人 森 田 春 美

1. はじめに

石油を中心としたエネルギー供給は、一時的な緩和がみられているとはいえ、中長期的には逼迫していくことが予想される。これを打開するために、原子力、石炭、LNGなどの開発利用をさらに推進することはもとより、これを量的に補完するものとして、外国に依存しない純国産で、身近に存在しており、在来のエネルギー供給システムに乗りにくかったローカルエネルギーを可能な限り発掘し、これらの有効利用の研究が種々こころみられている。

ローカルエネルギーには、太陽、地熱、中小水力、風力、天然ガス、バイオマス、海洋エネルギー等の自然エネルギーのほか、各種工場等からの廃熱、廃棄物エネルギーがある。これらのエネルギーは密度が小さく、分散しており、エネルギー供給も小規模であるが、地域社会の需要に即応した有機的供給のために、各種エネルギーの組み合わせや複合化による多様なシステムの利用が考えられ、一部実用化が進んでいる。

ローカルエネルギーとしては当初予想されたものは先に述べたごとく種々あるが、木質系バイオマスエネルギーも実用化されたものが多く、中でもオガライトやペレットなどの固形燃料が最も普及している。これらの固形化燃料は取り扱いが都合がよいが、成形に多大な経費を要し燃料経済的には必ずしも有利とはいえず、薪のままで使用する方が有利である。薪や上述の固形燃料は、燃焼のコントロールがむづかしく、燃料のランダムな投入法においては燃焼の安定制御は無理であり、そのためには一定の姿勢で燃焼することが要求される。

本研究では、木材乾燥をはじめ各種地場産業、

農林水産関連施設等の小規模需要用途の加温を目的とし、経済性を主眼とした薪燃焼システムの出力調整とその発生熱エネルギー熱交換の実験を行った。

薪等の固形燃料の燃焼コントロールは、その燃焼理論上からも不可能な部分があるが、前記用途の加温用としては、クリーンな自然エネルギーとして排煙、悪臭もなく所期の目的を達するものと判断されたので、その概要を述べる。

2. 薪燃焼装置

前述のとおり、本報では木質バイオマスを薪のまま燃焼する経済的技術の開発を目的としており、薪燃焼の予備研究を基に、次の諸項目を試作の要点とした。

1. 定常的な燃焼を実現するために貯薪室を設け、薪は自重により下部ガス化部、燃焼室へ落下移行する方式とし、燃焼姿勢を一定化する。従来のランダム投入法では燃焼姿勢の一定化は困難であり、又自動投入機の附帯は中小規模の燃焼機にはなじみにくい。
2. 一次空気を強制押込式、2次空気を煙突に設けた誘引ファンによる引込式とし、出力調整は一次空気のON-OFF方式とする。2次空気は常時供給することにより火種の火層を形成する。
3. 燃焼排ガスの熱エネルギー利用を検討するために温水型熱交換機を設ける。

以上の基本設計を基に試作した薪燃焼装置の概要を図1に示す。

本装置の機能の概要は次の通りである。

まず燃焼室に着火して火力のアップとともに火層が形成される。この火層は上部のガス化部

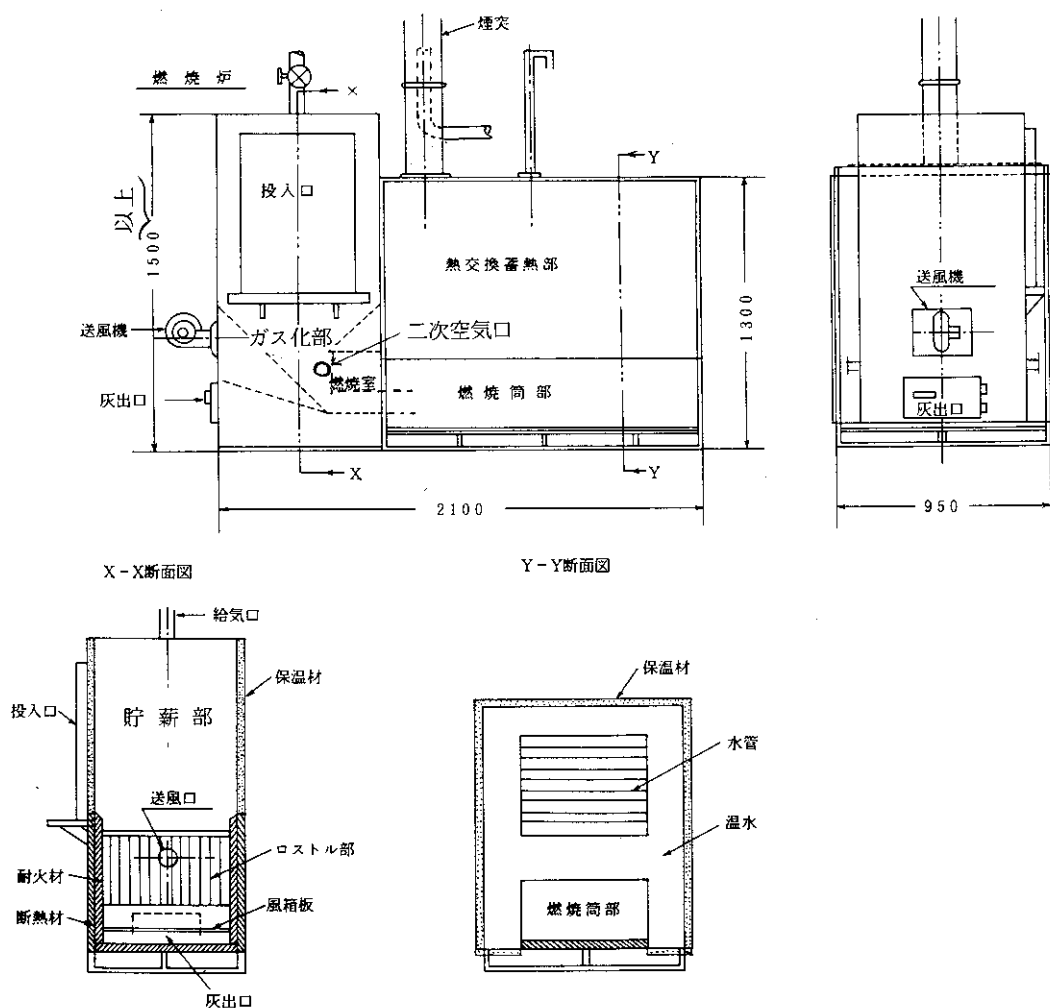


図1 木質燃焼型温水機の基本構造図

の薪をガス化し、この加熱分解ガスは燃焼室の火層を通過するときに、2次空気と混合して燃焼を完了し、燃焼室出口より燃焼筒部に火焰を放射する。この燃焼排ガスは温水型熱交換機を経て排ガス出口から煙突に排気する。

ここで貯薪槽内の薪は下部燃焼室で順次燃焼し、燃料は上部から自重により落下移行し燃焼は定常的に持続する。

3. 実験結果と考察

3-1 燃料としての薪の選択

薪は一般に広葉樹等の硬木と杉・ヒノキ等の

軟木に大別されるが、これらの物理的性質は樹木の種類、年令、採材の時期などによって様ではない。

水分の含有量は一般に25~60%で大気中で天然乾燥を行っても10~20%位含んでいる。

炭素含有量は50~52%, 1 m^3 当りの重量は乾燥したもので、硬木 550~650 kg, 軟木 300~400 kg, 発熱量は何れも 4,500~4,700 Kcal/kg である。

燃料用としては、いずれを使用しても不都合はなかったが、軟木は同一重量に対して体積が大きいから硬木に比べて燃料タンク槽が大きく

なる嫌いがある。図2に示したように同じ見掛けの重量薪1kgでも含水量の多少により質的に異なるから水分の少ない方が当然発熱量が多い。

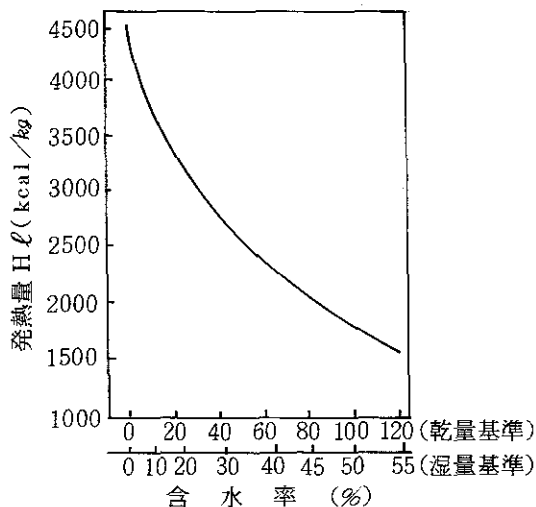


図2 含水率と発熱量の関係

燃焼実験では、一般的に含水率が同じであれば比重の大きい薪ほど燃焼持続時間がやや長くなる傾向を示し、含水率の多いものが、少ないものに比べて、燃焼持続時間がやや長くなるとともに燃焼ガス出口温度（火焰温度）が低温を示す傾向にあった。含水率によって火焰の形状・寸法に大きな差があり、含水率の高いものほど火焰の広がりが大きい。

3-2 皮付丸太の乾燥経過

本実験では直径10~20cmの皮付丸太のままで薪として利用するので、図3に皮付杉丸太の乾燥経過を示す。実験に用いた丸太は、県内産の杉間伐材で、伐採後当センター内で天然乾燥を行った。

平均含水率は丸太の重量を測定し全乾法により求めた。同一材から採材したものであるが、初期含水率はほとんど差がなく、開始後30日までの乾燥が速く、以後は比較的緩慢である。

又直径別では、径の小さい方が当然のことな

がら乾燥速度が大きく、30日以降では平均含水率で約10%の差が認められる。これは発熱量に換算すると約11%の差といえる。

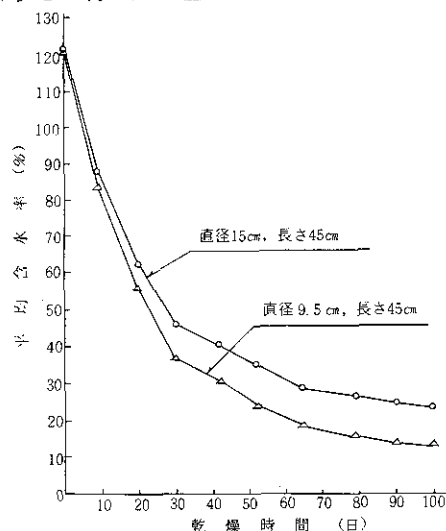
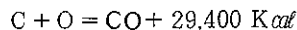


図3 皮付丸太の乾燥経過
乾燥開始 11月14日

3-3 薪ガスの発生熱量について

本実験装置の薪ガス炉内の化学反応は、



で、この際発生する熱量は、薪を乾溜するために使用される。薪が燃焼した時の生成物を重量比で表すと、

重量比 (%)	
水 蒸 気	35
木 炭	30
燃 焼 ガス	30
噴霧状タール	3

となるから、200kgの薪があれば60m³のガスが発生し、しかも60kgの木炭が炉内に得られるから、これより燃焼ガス280m³が発生する。

この場合、燃焼ガスの含有物及び発生量は、
容積(%) 発熱量(Kcal/m³)

薪ガス	17.65	3,300
CO	26.20	3,070
N	56.15	

となり、 $3,300 \times 0.1765 + 3,070 \times 0.2620$

$$= 1,387 \text{ Kcal} / \text{m}^3$$

故に、200 kgの薪を使用すれば、それより得られるべき熱量は、

$$\text{発生熱量} = (60 + 280) \times 1,387 = 471,580 \text{ Kcal}$$

となる。

このうち熱交換機の効率を85%とすれば、

$$471,580 \times 0.85 = 400,843 \text{ Kcal}$$

が利用し得る熱量となる。

3-4 燃焼過程の変化

図4に燃焼実験装置の燃焼過程の経過の一例を示す。図は排ガス温度の変化を示したもので、燃焼量11 kg/H、25 kg/Hの例である。

図より明らかなように、いずれの場合も着火後の初期の立上りがおそいが、以後の燃焼過程は比較的に安定し、定常的な燃焼を継続することが分る。燃焼量11 kg/H曲線における約5.5～6 Hのピークは燃料タンク部に棚吊現象があり、これが落下したことにより一時的に燃焼が進んだことによるものである。この棚吊現象の原因は、貯薪部の外壁の熱歪により生じたものと思われる。

図5に負荷をかけたときの燃焼過程の経過を示す。

燃焼熱エネルギーを温水型熱交換機で熱交換して10 l/min、約85℃(入口温度22℃)で通水した時の燃焼経過である。図より明らかなように図4同様、初期の立上りがいずれの測定項目も緩慢であるが、着火後

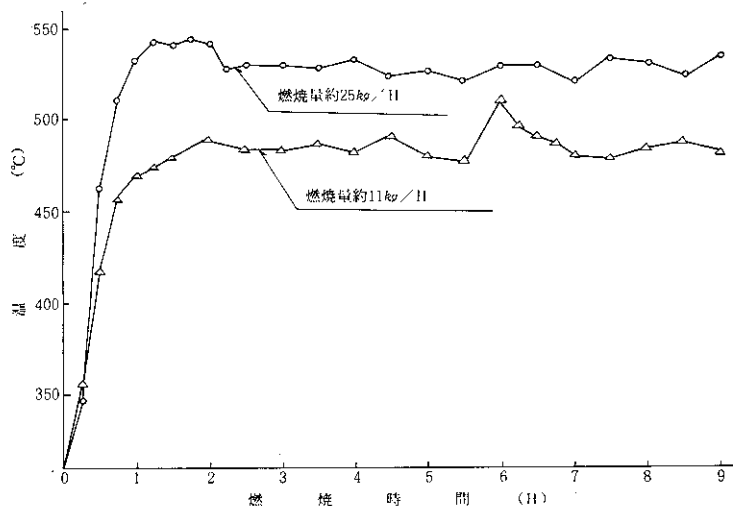


図4 燃焼過程の排ガス温度の変化

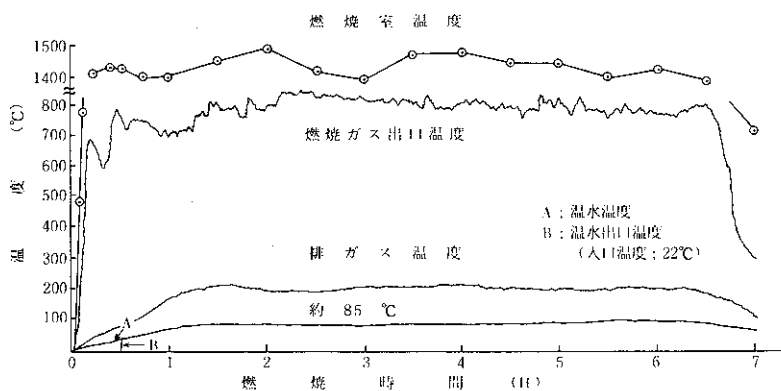


図5 燃焼過程の変化 (温水熱交換の場合)

約15分で定常的な燃焼状態に入ること示している。

薪ガス化部下方の燃焼室温度は約1,400～1,500℃の範囲で安定し、燃焼ガス出口温度は約700～800℃である。この燃焼ガスは着火後10～15分から燃焼終了間際までかなり安定的に火焰を持続する。燃焼室の温度が1,400～1,500℃の高温を持続するため、燃焼室壁材の耐火性が要求され、ロストルの損傷も著しい。

負荷変動に対応するために燃焼制御を必要とするが、本実験装置では、1次空気を強制押込み式、2次空気は煙突に設けた誘引ファンによる引き込み式とし、燃焼のコントロールを一次空気のON-OFF方式で行った。その結果を図6に示した。含水率約28%の杉間伐材の薪を毎時約22kg燃焼したものであるが、途中約10～15分間一次空気の供給を停止、燃焼ガス出口温

度の変化と再起動時の立上り状況を調べた。図より繰返し断続試験を行っても比較的安定して復帰することが分る。これは本装置では1次空気を停止しても、2次空気が誘引ファンにより絶えず燃焼室のオキに供給されて、火種が十分に確保されており、このため再起動時の立上りが早いものと思われる。図より明らかなように1次空気を停止すると数10秒で燃焼ガス出口より放射する火焰が消え、急速に温度が下がるが、約10～15分後1次空気を再供給するとすみやかに火焰を出し、燃焼ガス出口温度も700～800℃に復帰することが分る。本装置のコントロール方式には多少の問題を残すが、目的とする地場産業の中小規模の乾燥や加温施設などに使用するのであれば、十分に所期の目的を達成することが出来るものと思われる。

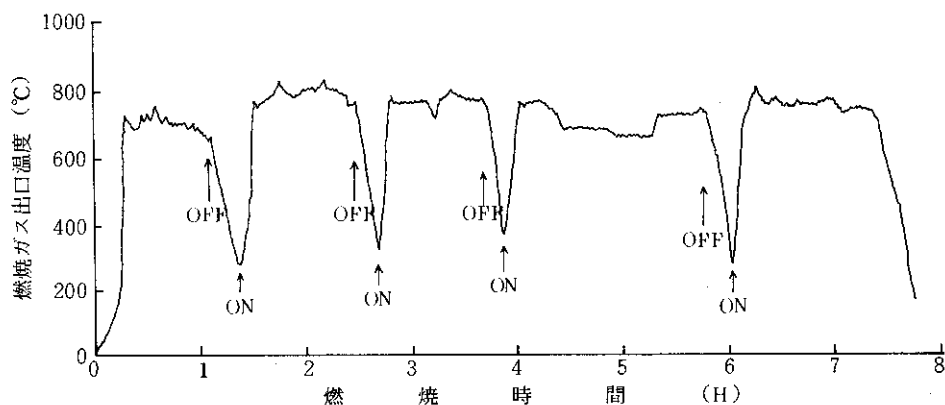


図6 一次空気ON-OFFによる断続燃焼の変化
(燃焼量 杉 約22kg/H)

4. 木質系エネルギー利用システムの考察

木質エネルギーの一般的利用の代表的事例として、薪ボイラ、薪やオガライト等の燃焼炉による諸暖房、薪燃焼による諸乾燥、燐製製造等がある。鹿児島県内では、木竹工場で廃材を利用した乾燥施設約40、枕崎市・山川町では鋸節

製造工場約150等があり、生鋸処理に全工場で薪必要量(広葉樹の雑木)は年間約6,500t消費されている。

図7に木竹工場および林地廃材の薪燃料熱利用システムの一例を示す。

薪燃焼エネルギーを利用した本システムの利用分野は、中小規模の石油代替エネルギーとして

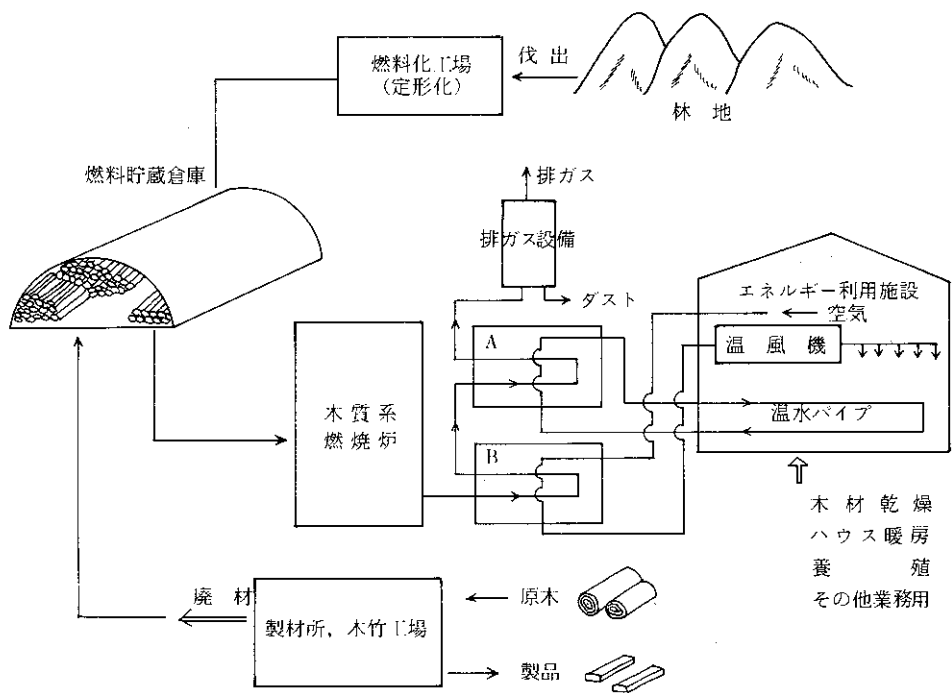


図7 木質系直接燃焼エネルギー利用システム

木材乾燥、ハウス暖房、養殖暖房、シイタケ乾燥等、幅広い分野での活用が考えられる。

今後木質エネルギーの活用のためには、夫々木質エネルギーに適したシステム検討が必要で、原料の収集搬出技術—第一次加工—燃料生産技術—燃焼技術の諸技術の一貫した検討をシステム的に進める必要がある。

地域から生産される林産エネルギーを地域産業である前述の諸利用分野の代替エネルギーに活用するために、林産資源を新形態として直接燃焼して、その熱エネルギーを利用する薪燃焼熱エネルギー利用システムは、燃料確保とその取扱いに問題があるものの、経済的技術として地場産業の附加価値の向上に寄与できると思われる。

図8に本システムを利用した乾燥材積 2 m^3 の木竹材乾燥システムの概念図を示す。木竹材の乾燥は従来、家具工芸分野では、電気ヒーター、

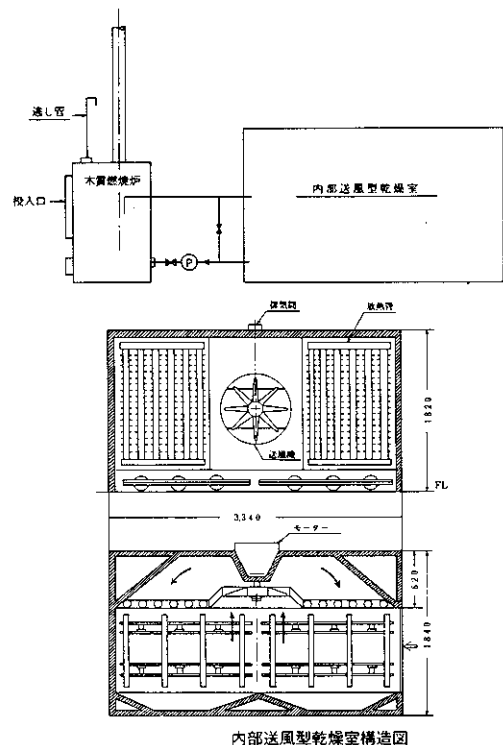


図8 薪利用型木竹材乾燥システム

重油バーナー、竹製品では重油バーナー、竹屑床燃焼による自然循環方式で乾燥室と燃焼炉が一体化している。本システムでは薪燃焼装置と乾燥室を切り離して、乾燥室は温水型間接熱風強制循環方式とする。薪燃焼装置に蓄熱された温水を乾燥室に設けたエロフィンチューブに送り放熱循環する方式で、温度コントロールは乾燥スケジュールに応じて自動調節するとともに、乾燥室の熱エネルギー需要に応じて薪燃焼装置の出力調整（一次空気ON-OFF方式）する。

木竹工場では、各工場で自家発生する背板や端材などの廃材を一定寸法にして薪の確保は十分賅える。廃材排出量は家具工場で約70%（製品歩止まり約25~30%）、竹製品工場では70~80%といわれる。木竹工場では通年使用でエネルギー消費も多く、石油代替効果が大きいと考えられる。

5. 木質エネルギー利用システム促進上の問題点

木質系バイオマスを地域エネルギーとして利用普及するためには、原料の安定供給と現社会に適合したエネルギー転換とその利用技術が重要である。当然のことながら、原料生産者と利用者の双方にメリットがなければならない。現在の木質エネルギーの利用者は殆どが製材所、或は木竹工場の近くにあり、パークや廃材等を著しく廉価で入手しており、燃料コストの引き下げのみを切実な目標として実施しているのではない。

したがって今後、木質エネルギー利用装置の具備すべき条件は、効率的に完全燃焼し、経済性が高く、利用目的に適合した熱利用が出来ること。操作取扱いは自動化など省力化され、出力調整が可能。且つ設備維持費が安価で耐久性、安全性が高い等が挙げられる。

現在林地残材が大地環元の名のもとに放置されて腐朽化しているのは、労働環境の不整備、林業不振、一次産業部門における燃料需要の石油への移行等が原因と考えられる。木質エネルギーの場合、伐採・搬出コストが原価の大部分を構成すると言われる。伐採搬出は諸機械力の導入により人力依存の削減と労働環境の改善が必要である。現実の森林施業は木材不況や山村社会の過疎化の影響を受けて計画が相当下回っており、森林改良が進んでいないと言われる。当然の事ながら林業振興の見地からも木質エネルギーの利用促進は重要であるから、ハード面だけでなく制度的、組織的、計画的なソフト面の検討が重要な問題である。即ち長期にわたる安定供給の可能な資源の利用計画の立案と実施及び資源を集荷調整し、エネルギー資源化するための独自主体または組織が必要と考えられる。

6. おわりに

木質エネルギーを薪形態のままで利用する薪燃焼装置とその排熱エネルギーの利用技術の研究を行ったが、従来困難であった薪燃焼における長時間定常的燃焼技術と1次空気制御による出力調整に一定の成果を得た。また、その排熱エネルギーを温水熱交換し、中小規模の乾燥や加温施設などに利用出来る目途がついた。

今後、燃焼室を含む周辺の耐熱性をはじめ、装置の耐久性、効率向上の改善を図り木材乾燥など地域産業利用分野への応用、既存エネルギーシステムとの複合的利用など引き続き検討して行きたい。

参考文献

- ① エネルギー総合工学研究所：ローカルエネルギーシステムのケーススタディー（55年3月）
- ② 省エネルギーセンター：省エネルギー燃焼技術（59年10月）