HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	森林系木質バイオマスを利用するエネルギーシステムの評価
Author(s)	山﨑, 高; 北野, 智也; 秋本, 裕輔; 山形, 定; 村尾, 直人; 太田, 幸雄; 高津, 宏和
Citation	衛生工学シンポジウム論文集, 13, 147-150
Issue Date	2005-11-16
Doc URL	http://hdl.handle.net/2115/1353
Type	bulletin (article)
Note	第13回衛生工学シンポジウム（平成17年11月17日（木）-18日（金） 北海道大学クラーク会館）. 一般セッション. 4 建築 都市エネルギー利用. 4-9
File Information	4-9_p147-150.pdf

Instructions for use

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

４－９　森林系木質バイオマスを利用するエネルギーシステムの評価

○ 山﨑高，北野智也，秋本裕輔，山形定，村尾直人，太田幸雄(北海道大学院工学研究科)
高津宏和(東京ガス)

1.　はじめに

木質バイオマスのエネルギー利用では，燃焼プロセスなどで一時的にCO_2を排出するものの，光合成による木質バイオマス再生時にCO_2から有機炭素への変換が行われるため，実質的には大気中の二酸化炭素を増加させないカーボンニュートラルという特徴を持つ．木質バイオマスは，建築廃材や製材工場残材などの廃棄物系バイオマスと林地残材の森林系バイオマスに大別され，それらは調達コスト，資源分布，性状が異なる．そのため，利用方法を検討するには廃棄物系，森林系バイオマスについて峻別する必要がある．本研究では，森林保全や地域活性化の観点からも注目されている森林系バイオマスを用いて熱電併給を行うための二つの技術(ガス化－内燃エンジン，燃焼－蒸気エンジン)について評価を行った．

2.　森林系木質バイオマスの現状

森林系バイオマスとは森林の利用・保全の際に発生する林地残材を指す．具体的には，主伐・間伐時に，用材と共に発生する端材や枝条のような商業的に利用されない木であり，森林内に放置されているのが現状である．

表 1 に，現在の日本国内における木質バイオマスの発生量，利用状況を示す．最も発生量の多い製材工場等残材は発生量の 93％が製紙用チップ，家畜敷料などに利用されている．一方，建築廃材は 38％が利用されており，林地残材はほとんど利用されていない．北海道内においては，図 1 に示すように建築廃材や製材工場等残材は，発生量は多いが利用可能量は少ない．林地残材は 402 千トン/年の利用可能量が存在しており，この量が持つエネルギー約 4.0 PJは，北海道の一次エネルギー[5]の 0.38%に相当する．

表 1　日本国内における木質バイオマスの種類別賦存量とその利活用状況[1]

種類	年間発生量	利活用の状況
製材工場等残材	750万t	木材チップ(24%)、家畜敷料(22%)，燃料(22%)，廃棄(7%)
建設廃材	480万t	再資源化(38%)
林地残材	485万t	ほとんど未利用

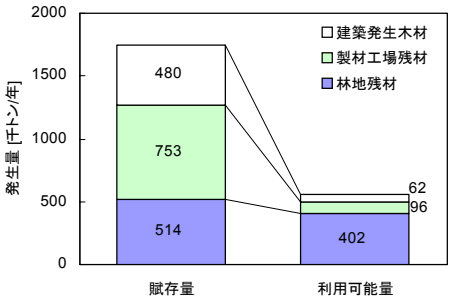

図 1　北海道内における木質バイオマスの賦存量と利用可能量 [2-4]

現在の北海道の森林は，間伐などの整備が必要な 45 年生以下の森林が人工林面積の 88％を占めており[6]，今後，間伐による林地残材の発生量増加が予想される．例えば，足寄町は町内の枝条発生量が 2020－2024 年には 2000－2004 年の約 1.8 倍になると試算している[3]．図 2 には道内林業の指標を示す．木材伐採量は 40 年前の約 1/3 となっているが，森林系バイオマスの利用促進などにより林業が活性化すれば，製材工場等残材や林地残材の発生量が増加する循環が生まれる．図 1 で

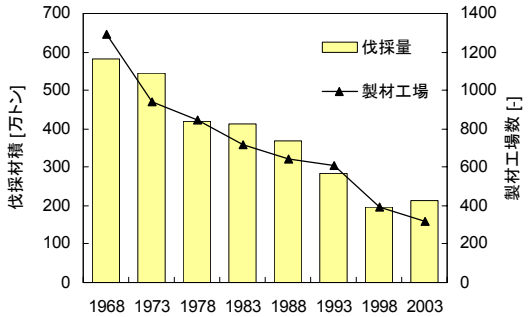

図 2　北海道内における森林伐採量と製材工場数の変化

示した木質バイオマス各種類の賦存量・利用可能量は，現状の林業を反映した値であり，将来的には増加が期待できる．

3. 森林系バイオマスを利用する CHP(熱電併給)の規模

バイオマスは化石燃料と比べエネルギー密度が低く，また森林系バイオマスはバイオマスの中でも発生密度が低いため[7]，広範囲からの大量収集には向かず，地域内で発生したものを地域で利用することが望ましい．そこで表 2 には，森林組合単位で森林系バイオマスを収集し，CHPプラントを運転することを想定して，各CHPプラントが供給できる電気と熱の出力を推計したものを示す．1 つの森林組合が一日に収集できる林地残材の量は 1－21 トンであり，十勝の値がとりわけ大きかった．各プラントから得られる出力は，電気が 60－1181 kW，熱が 195－3840 kWであり，これらの値は支庁によって大きく異なった．

表 2　森林組合単位で林地残材を収集，CHP プラントを運転した際に得られる出力（CHP プラント運転条件：運転時間 10 時間/日；発電効率 20%；総合エネルギー効率 85%の場合）

支庁	民有林の林地残材 利用可能量推計値 [トン/年]	森林組合数	林地残材 [トン/(日*森林組合)]	発電出力 [kW/森林組合]	熱出力 [kW/森林組合]
渡島	10,273	12	2	130	423
檜山	5,672	6	3	144	468
後志	10,142	4	7	386	1,254
石狩	1,973	5	1	60	195
空知	19,984	10	5	304	989
上川	41,512	18	6	351	1,141
留萌	6,507	4	4	248	805
宗谷	5,356	4	4	204	662
網走	85,526	19	12	685	2,227
胆振	12,032	6	5	305	992
日高	9,306	4	6	354	1,151
十勝	131,960	17	21	1,181	3,840
釧路	24,543	8	8	467	1,518
根室	5,006	3	5	254	825

CHPプラント導入の際にはエネルギー供給先の確保が不可欠である．電気はその需要が大きいことや余剰電力の売電が可能であることから，余すことなく利用可能である．一方，地域熱供給の発達していない日本では，熱の有効利用が課題となる．現在，木質バイオマスを燃料とする熱供給プラントの供給先は温泉，公民館などの公共施設や木材加工工場などであるが，表 2 で示した MW 級の熱出力がある場合，相当規模の大きい施設を供給先として確保しなければ余剰熱が発生してしまう．このような需要と供給のミスマッチはエネルギー効率や採算性を悪化させることになる．対策としては，地域熱供給の導入，冷熱の供給，農業や水産業における大口の需要の開拓，熱供給先に応じた CHP プラントの小規模化などが挙げられる．

いずれの場合にも CHP プラントの発電規模は数百 kW になると考えられる．この規模の発電は，いわゆる小規模発電と言われ，一般的な発電所で使用される蒸気タービン発電方式の利用は効率の観点から難しい．そのため小規模でも高効率な発電を行うことのできる装置を使用する必要がある．表 3 には，小規模 CHP に利用可能な装置(内燃エンジン，蒸気エンジン，マイクロガスタービン，スターリングエンジン，燃料電池)の特徴を示す．

表 3　小規模CHPに利用可能な装置の特徴[8-10]

	内燃エンジン	蒸気エンジン	マイクロガスタービン	スターリングエンジン	燃料電池
適用範囲 (kWe)	1 - 15000	20 - 1500	25 - 200	2 - 150	2 -
発電効率 (%)	25 - 45	6 - 20	15 - 35	15 - 35	40
総合エネルギー効率 (%)	65 - 85	70 - 85	50 - 85	80 - 95	75 - 85
長所	確立された技術 安価	確立された技術 柔軟な負荷変動対応	低騒音 メンテナンス容易	高総合エネルギー効率 低騒音	高発電効率 低騒音
バイオマス変換技術	ガス化	燃焼	ガス化	燃焼/ガス化	ガス化

ここでは，長年利用され，既に確立された技術を持つ内燃エンジンと蒸気エンジンについて検討した．両者はバイオマスエネルギー変換方法が異なり，内燃エンジンが可燃性ガスを得るためにバイオマスガス化を行うのに対し，蒸気エンジンは蒸気を得るためにバイオマスの直接燃焼を行う．そこで，(1)バイオマスガス化－内燃エンジン，(2)バイオマス燃焼－蒸気エンジンの CHP システム実験機の運転を行った．

4. 森林系バイオマスを燃料とする CHP システム

4.1. バイオマスガス化－内燃機関

図 3 にバイオマスガス化－内燃機関CHPシステム実験機の外観を示す．ガス化炉で木質バイオマスを部分燃焼ガス化し，生成した可燃性ガスを内燃エンジンに導入することで，ガスエンジン発電機(GM2600SSM, デンヨー)を駆動する構造となっている．ガス中にはタール・粒子のようなエンジンに悪影響を与える物質が含まれるため[11]，実験機にはそれらを除去する各種装置を備えている．

図 3 バイオマスガス化－内燃エンジン CHP システム実験装置の外観

図 4 に生成ガス低位発熱量および冷ガス効率のガス化炉空気供給速度への依存性を示す．生成ガスの発熱量は 3.5－4.7 MJ/m^{3}であり，空気供給速度の上昇によって発熱量は増加した．この発熱量の増加は，炉内温度の上昇により水性ガス反応，シフト反応が進行してH_2とCOが増加したことによるものである．発熱量が 4 MJ/m^{3}程度のガスであれば，1 kW程度の発電が可能であったが，発熱量が低下するとノッキングの発生による出力の低下やエンジン停止が起こった．ただし，エンジンを作動するのに十分な発熱量がある場合でも，除去できなかったタールの影響によりエンジンが不調となり動作しないことがあった．冷ガス効率は最大で55%であり，空気流量が 3 m^3/hr程度では 40%程度まで減少した．発電効率は最大で約 8%であった．

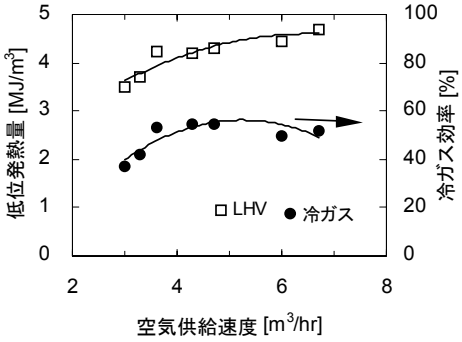

図 4 空気供給速度と生成ガス低位発熱量および冷ガス効率の関係

表 4 にはバイオマスガス化炉の特性を示す．今回使用したガス化炉はダウンドラフト型であり，様々なガス化炉の中でタール生成量が少ないとされている[12]．ガス化炉出口でタール測定を行い，タール生成量は燃料の 1－5%であることがわかった．ダウンドラフト型ガス化炉のタール濃度は 1 g/m^3_N以下が可能であると報告されており[12]，それに比べて 3－17 倍大きかった．

表 4　バイオマスガス化特性

ガス化炉	ダウンドラフト型
ガス化剤	空気
燃料消費速度 [kg/hr]	2.0 - 4.3
当量比 [-]	0.33 - 0.41
ガス低位発熱量 [MJ/m3]	3.5 - 4.7
H_2 [%]	8 - 11
CO [%]	15 - 22
CO_2 [%]	12 - 17
CH_4 [%]	2
タール濃度 [g/kg-乾燥燃料]	16 - 45
粒子濃度 [g/kg-乾燥燃料]	0.6 - 2.2
冷ガス効率	37 - 55

4.2. バイオマス燃焼－蒸気エンジン

一色・小島により製作されたバイオマス燃焼－蒸気エンジンCHPシステム実験機[13]のフロー図と外観を図 5, 6 にそれぞれ示す．ボイラー水タンクからボイラー内水管に送られた水がバイオマスの燃焼熱にて加熱されることで生成した蒸気が，バルブ制御により圧力一定で蒸気エンジンに供給される．この蒸気エンジンは蒸気過熱用のヘッド部を備えており，ヘッド部のみが過熱器内に設置されている．エンジンに供給された蒸気は過熱器内でのバイオマスの燃焼によって過熱され，その過熱蒸気がエンジンを作動して，付属の発電機(GNA152PA1-N2G，富士電機)で発電を行う構造である．

図 7 には蒸気エンジンへの供給蒸気圧力と発電出力の関係を示す．蒸気圧の上昇とともに出力が増大した．また過熱器の温度が増加すると出力は若干増加し，0.2 MPa の蒸気圧で運転した場合，

過熱器の温度が 480 ℃から 780 ℃に上昇すると，出力は 100 W から 120 W に増加した．

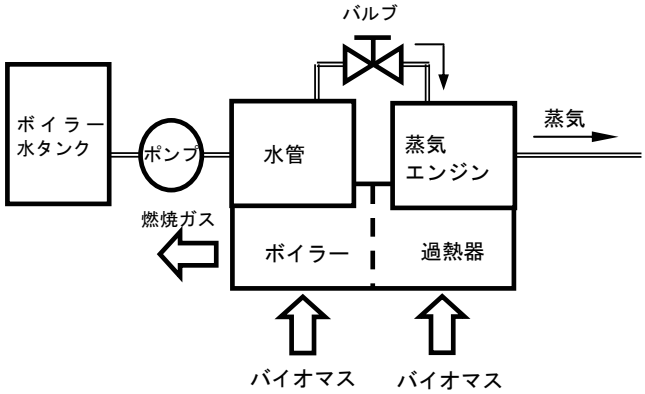

図 5 バイオマス燃焼－蒸気エンジン CHP システム実験機フロー

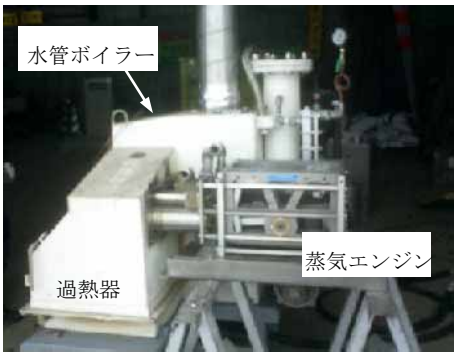

図 6 バイオマス燃焼－蒸気エンジン CHP システム実験機の外観

CHP システムのエネルギーバランスの一例(供給蒸気圧 0.3 MPa，過熱器温度 430 ℃)を図 8 に示す．ボイラーから 24 MJ の蒸気と過熱用に約 12 MJ の熱が蒸気エンジンに供給されることで，蒸気エンジンは 0.2 MJ の電気と 23 MJ の飽和蒸気を生成した．供給されたバイオマスの熱量が電気エネルギーに変換した割合は 0.4%，また総合エネルギー効率は 40%であった．

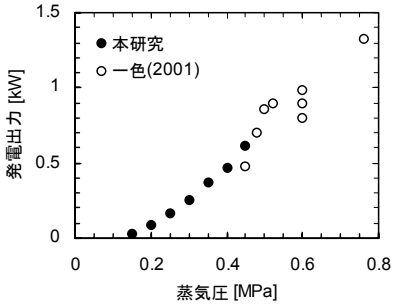

図 7 供給蒸気圧と発電出力の関係

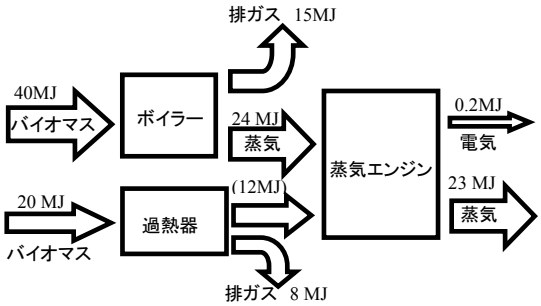

図 8 バイオマス燃焼－蒸気エンジン CHP システム実験機におけるエネルギーバランスの例

4. まとめ

森林系バイオマス利用する CHP システムについて，森林系バイオマス発生状況，熱需要などからその規模について検討を行い，候補である 2 つのシステムについて実験を行った．ガス化－内燃機関システムは燃焼－蒸気エンジンに比べて，発電効率が高く小規模発電では有効であることがわかった．ただしタールの発生抑制・除去の課題が残った．一方，燃焼－蒸気エンジンは，燃料の供給量を変えて蒸気生成量を増減させることで，発電量や熱供給量を調節することが可能であった．この点は需要の変化に対応しやすいだけでなく，供給量が変動しやすいバイオマスを利用する観点からも望ましい．

参考文献:

1)野口浩司,木質エネルギー1 号,2003,pp8-10. 2)北海道開発局,平成 16 年度北海道開発計画調査,2004. 3)北海道,木質バイオマス資源利用モデル調査報告書,2002. 4)酒井明香,北海道林業試験場光珠内季報, 133(2004) pp15-20. 5)北海道商工観光部,北海道エネルギー概況,2004. 6)北海道水産林務部,平成 15 年度北海道林業統計,2004. 7)小宮山宏ら,バイオマスニッポン,日本工業新聞社,2003. 8)Alanne, K. Saari, A. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 8(2004), pp401-431. 9)Cogen3, Technical Report: Available Cogeneration Technologies in Europe Part1, 2003 (http://www.cogen3.net/). 10)OPET, Technology paper2: Micro and small-scale CHP from biomass, 2002. 11)山﨑ら, 第 12 回衛生工学シンポジウム論文集:北海道大学,2004,pp153-156. 12)Milne et al. Biomass gasifier “Tar”: their nature, formation, and conversion; NREL/TP-570-25357; Golden, CO, 1998. 13)一色ら, 第 5 回スターリングサイクルシンポジウム講演論文集:神奈川大学,2001, pp27-30.