

災害時をも考慮した木質バイオマスを用いた小規模・自立分散型熱電併給システムの提案

下條 理生¹・古市 徹²・石井 一英³・藤山 淳史⁴

¹非会員 北海道大学公共政策大学院生 (〒060-8628 札幌市北区北 13 条西 8 丁目)

E-mail: shimojo@kanri-cr.eng.hokudai.ac.jp

²正会員 北海道大学客員教授 大学院工学研究科 (〒060-8628 札幌市北区北 13 条西 8 丁目)

E-mail: t-furu@eng.hokudai.ac.jp

³会員 北海道大学准教授 大学院工学研究科 (〒060-8628 札幌市北区北 13 条西 8 丁目)

E-mail: k-ishii@eng.hokudai.ac.jp

⁴正会員 北海道大学特任助教 大学院工学研究科 (〒060-8628 札幌市北区北 13 条西 8 丁目)

E-mail: fujiyama@eng.hokudai.ac.jp

本研究では林業が盛んな津別町を対象として、自治体主体の災害時にも機能する木質バイオマスを用いた温水配管による自立分散型熱電併給システムの提案を目的とする。特に熱電併給範囲及び熱電併給技術(発電効率 10%の直接燃焼(F1)と 30%のガス化方式(G1))を考慮し事業採算性解析を行った。町役場周辺の公共施設を中心に設定された併給範囲(3 通り)の最大電力負荷量から、F1 及び G1 の施設規模をそれぞれ設定した。比較の結果、F1 では発電効率が低いため大量のチップを必要とすることから採算はとれない。一方 G1 では、電力供給を優先したため、冬期間ペレットを購入して熱を補う必要があるものの、施設規模が抑制され、同時にチップの購入量も少なくてすむことから、この中では実現性の高いシナリオであることを示した。

Key Words: disaster planning, district heat and power supply system, woody biomass, financial feasibility

1. 研究背景と目的

東日本大震災を契機に、大規模集中型ではなく小規模分散型のエネルギー供給が着目されるようになった。特に地方においてバイオマス等の地域資源を活用した自立分散型の再生可能エネルギーへのニーズが高まっている。地域振興策の必要性が叫ばれる中、地域資源としての再生エネルギー活用による地域振興、また外部からの電力、灯油、ガスのエネルギー供給が停止するような災害時でも、公共施設や病院、避難施設等に熱電を供給できるといった災害時の自治体機能の維持などの課題に自治体に取り組んでいくことが必要である。そこで本研究では、自治体を主体とした自立分散型熱電併給(以降 CHP)システムについて検討することにした。

自治体が CHP システムを導入するインセンティブとして、外部からのエネルギー供給が停止しても、①その自治体の最低限の機能が維持できること。②避難所等に住人を集め、そこに最低限必要なエネ

ギーを供給できること。③病院や福祉施設等緊急度の高い施設にエネルギー供給ができることが挙げられる。このような対策は、強靱化の一環でもある。また、平時であっても、地域にもともと存在するバイオマス等の資源を利用することにより外部から購入していたエネルギーを代替できることで、地域内の経済に貢献できる。これは自治体が GHG 削減などの環境面も含め多少高い燃料代を支払っても行うことに意味のある事業であるといえる。そのような理由で本研究では自治体の役場に CHP システムを導入し、その周辺の重要施設(避難所や病院など)熱と電気を併給するシステムを想定する。その際は事業採算性に大きく影響すると考えられる。①配管距離とエネルギー需要を考慮した熱電併給範囲と、②発電効率やコストの異なる CHP 技術の選択が課題となる。そこで本研究では津別町を対象とした、自治体主体の木質バイオマスを用いた熱電併給システム検討において、事業採算性に大きく影響する①配管距離と熱電需要を考慮した熱電供給範囲と、②発

電効率等の違いによる CHP 技術の選択の 2 点に着目したシナリオを作成し、事業採算性評価により、その地域の熱電需要に適した実行可能なシステムを提案することを目的とする。

2. 対象地域の概要とバイオマス利活用に関する取組

(1) 津別町の概要

津別町は北海道東部の内陸に位置し、東西 37.2 km、南北 34.1 km、総面積約 716.60 km²に及び全道屈指の広汎な町域を有している。地形は、大別すると扇状に広がる河川流域の平地と、山地によって形成されている。人口 5,284、総面積の約 86% を国・道有林が占めており、この豊富な森林資源を元に林業・林産業を基幹産業としている。町の特色として、環境に低負荷な農業林業を目標とし、平成 13 年には家畜ふん尿、下水汚泥、生ごみ等の廃棄物系バイオマスの有機質資源リサイクルに取り組み、平成 19 年 3 月には「津別町バイオマスタウン構想」を策定し、林地残材や製材工場残材のエネルギー利用として木質ペレットの製造、公共施設や一般住宅・事務所で木質バイオマスエネルギー利用促進により、森林の保全と林業再生、環境保全型地域循環社会を目指している。なお、津別町の林地未利用材賦存量は年間約 9,900 t¹⁾ある。

(2) バイオマス利活用の状況¹⁾

津別町ではこれまで平成 19 年に策定されたバイオマスタウン構想において設定された、平成 22 年における未利用系バイオマス目標利用率 62% 達成のために、様々な取り組みを進めてきた。

その 1 つが津別町役場から約 1 km に存在するペレット製造施設である。この施設は津別町が事業主体となって平成 21 年度から稼働を開始し、現在計画製造量として年間 900 t を製造している。原材料として規格外となり、製材用としては使えない丸太を森林組合から購入し、チップパーによって一次・二次破碎し、乾燥機によって乾燥され、ペレタイザーにてペレットが成形される。

2 つ目にペレット利用施設の設置である。成形されたペレットは製品サイロにて貯蔵された後、製品袋詰装置にて 1 袋 500 kg のフレコンで役場庁舎、トレーニングセンター、特別養護老人ホームのペレットボイラが設置されている大口の需要先へ、また 1 袋 15 kg の小袋として一般家庭や道の駅といった小規模公共施設、更に町外のペレットストーブが設置

されている小口の需要先へ販売される。

3 つ目に、熱電併給施設である。構造用の合板等を製造している丸玉産業株式会社では平成 19 年から津別工場施設内にバイオマスセンターを設置し、発電容量 4,700 kW、蒸気発生量 70 t/h の直接燃焼・蒸気タービンを用いた熱・電力生産を行っている。大まかな熱電生産過程としては、合板製造過程で発生したバークや単板、合板屑、更に町内から収集した林地残材、建設廃材をバイオマスセンターへ送る。持ち込まれた木質バイオマスをチップパーにて破碎、貯蔵サイロにて貯蔵し、その後ストーク式木質チップボイラにて燃焼され蒸気を生産する。発生した蒸気は全量抽気復水式タービンに送られ、タービンを回し発電を行うと同時に抽気した蒸気は原木の蒸煮、単板乾燥、接着等に用いられる。また生産した電気の内 3,900 kW は自工場での利用のほか、現在北海道電力へ余剰電力 600 kW を売電している。この CHP 施設を導入したことで、原油換算で 24,000 L/年の化石燃料を、また 69,000 t/年の CO₂ を削減した。

(3) 本研究で提案する CHP システムの検討範囲

本研究では、自治体の課題である、平時だけでなく災害時をも公共施設への熱電供給を行うといった点から、町内でも役場を含めた災害時に重要とされる病院、避難所等の公共的施設が集中している町役場周辺地域を対象範囲とした。

図-1 は津別町役場を中心とした半径 500m の範囲の地図であり、赤の点は町役場、緑の点は役場周辺の公共施設、青い枠はペレットボイラによる熱利用を行っている施設を示している。この範囲の内に災害時に避難所となる施設は、津別小学校、津別中学校、農業者トレーニングセンター、中央公民館、地域振興センター、津別保育所、町民会館の 7 つであり、この内、災害による長期的な災害に対応できる 2 次避難所は津別小学校と中学校、農業者トレーニングセンターの 2 つ存在する。更に病院や警察駐在所、消防署等、町の中でも災害対応として重要な施設が集中している。また町役場から 1km 以内には木質バイオマスを貯蔵でき、CHP システムにおけるバイオマスの集積基地となり得る施設がある。

3. 熱電併給システムの事業採算性解析

(1) 本研究で想定する熱電併給 (CHP) システム

図-2 を用いて、本研究で想定する熱電併給システムについて説明する。津別町では主伐、又は間伐で

表-1 各供給範囲における月別熱電需要量

供給範囲	単位	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
A	電気 kWh	53,284	44,035	39,790	33,815	37,299	35,648	31,810	35,344	43,183	54,128	58,622	51,970
	熱 MJ	413,871	265,257	165,282	90,202	55,797	96,903	88,736	191,285	289,963	409,199	421,687	384,017
B	電気 kWh	75,118	51,504	45,375	34,833	36,279	30,989	32,633	38,919	53,669	74,079	84,899	78,137
	熱 MJ	729,548	477,465	405,227	211,073	173,480	143,020	137,025	178,136	380,361	573,794	662,798	628,248
C	電気 kWh	99,734	75,965	67,935	56,449	61,136	55,498	53,715	60,773	78,308	103,687	115,653	104,790
	熱 MJ	880,275	576,335	430,697	233,387	173,480	193,923	181,688	308,642	533,254	774,616	843,325	786,975

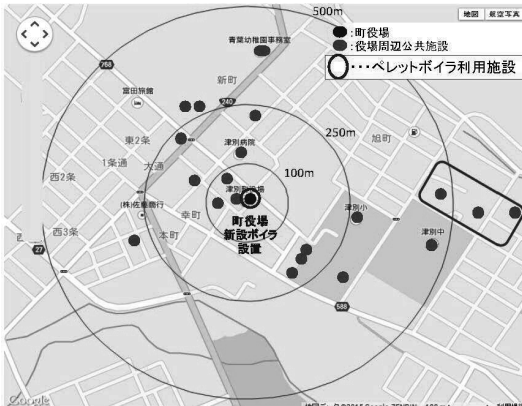


図-1 熱電併給先の候補である町役場周辺の公共施設

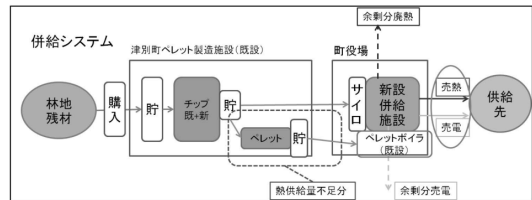


図-2 想定する熱電併給システム

うが、施設補助適用のため固定価格買取制度（FIT）の適用は考慮しない。一方、不足する熱については、津別町役場にある既設のペレットボイラにて不足分温水の供給を行う。この際、ボイラの燃料となるペレットについてはペレット製造施設にて製造したものを購入する。また電力については不足分のみ電力会社から購入するものとする。

(2) 熱電併給範囲の設定

本研究で設置すると想定した熱電併給施設から熱電を併給する公共施設の選択及び供給範囲を検討する。まず図-3に示すように、本研究の対象範囲の内、津別町役場と、役場に隣接する議会議事堂、林業研修会館を基本として病院へ供給を行う場合を、供給範囲Aとする。次に、災害時には避難所として指定される津別小学校、中学校、また小学校に隣接し大きな熱需要が見込める給食センターへ供給を行う場合を供給範囲Bとする。そしてAとB双方へ供給を行う場合を、供給範囲Cと設定した。この時、支出に影響する配管距離は、Aの場合200m、Bの場合700m、Cの場合900mとなった。

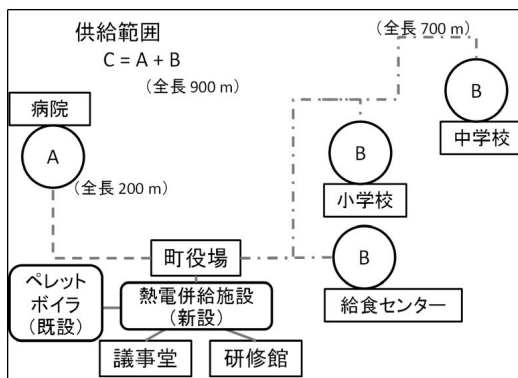


図-3 熱電併給範囲

発生した林地残材は、製材用の丸太等と共に土場まで運ばれると想定し、そこで土場まで搬出された林地残材等を購入、製造施設まで運搬する。この時、運搬費用については購入費に含まれているものとする。ペレット製造施設に持ち込まれた林地残材はチップパーにて一次破碎された後、ペレタイザーにてペレットを製造し、町内外の施設へ販売される。ここで既存の木質バイオマス保管用地を利用、既存のチップパーでは生産能力が本研究におけるチップ需要量に満たないため、新規に購入する。チップパーにて生産したチップは津別町役場に設置する併給施設へ運搬する。この時運搬は業者委託とする。持ち込まれたチップを直接燃焼、又はガス化CHPにて温水と電力を得、各供給範囲へ供給する。余剰の熱については廃熱し、電力については電力会社への売電を行

(3) 熱電併給施設規模の設定

(a) 熱電需要調査

熱電併給施設（以下、CHP施設）の規模を設定するため、各供給範囲における熱電需要量を把握する。各供給範囲に立地する公共施設における電力と燃料（灯油、A重油、ペレット（町役場のみ既存のペレットボイラあり）の月別消費量¹⁾より求められた各供給範囲における月別熱電需要量を表-1に示す。

(b) 施設規模の設定

次に、最大熱電負荷量からCHP施設の施設規模を設定するため、電力、熱それぞれで最も需要量の高い月の値に、施設区分別時間別負荷割合²⁾を乗じる

表-2 CHP 施設規模の設定

シナリオ	必要な発電容量(kW)	設定した発電容量(kW)
A-F1	173	200
A-G1	171	200
A-G2	406	450
B-F1	216	250
B-G1	213	250
B-G2	580	600
C-F1	294	300
C-G1	291	300
C-G2	673	700

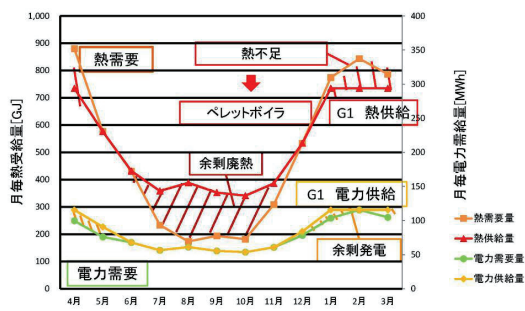


図-5 供給範囲 C における G1 の熱電需給量

ことで最大熱電負荷量を算出した。この最大電力負荷量に各 CHP 技術の所内電力消費率を考慮した必要発電容量を算出した。しかし、現状の技術では細かな値まで合わせた出力設定は困難であるため、本研究では必要な発電出力を賄えるよう 50kW 刻みで施設規模を設定した。CHP 施設規模を表-2 に示す (A・B・C は供給範囲、F・G は直接燃焼とガス化、1 は最大電力負荷から、2 は最大熱負荷から決定を示す)。その際に用いた各 CHP 技術における効率等の諸元³⁾については、直接燃焼とガス化それぞれ所内電力消費率は 16% と 15%、発電効率が 10% と 30%、熱回収率が 70% と 50%、熱供給ロスをとともに 10% と設定した。この時直接燃焼については F1、ガス化については G1 とした。またガス化については発電効率がいため、売電も考慮し最大熱負荷量から必要熱供給量を算出し施設規模を設定 G2 とした。

(4) 各シナリオにおける熱電供給量の推定

設定したシナリオにおける熱電需給量の推定を行った。その際、供給量が不足する場合は、①供給可能量が需要量を上回る場合は需要量に合わせた供給、②下回る場合には最大供給量で熱電供給を行い、不足分は電力については購入、熱については町内にある既設のペレット製造施設からペレットを購入することとした。また供給量に余剰分が発生する場合、熱は廃熱、電力は電力会社に売電することとした。但し、FIT 適用を考慮しないので、売電価格は極めて安くなるものとした (本研究ではゼロとして試算した)。

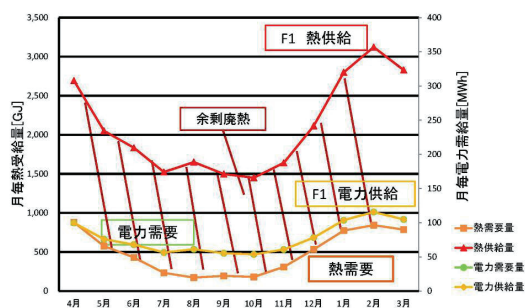


図-4 供給範囲 C における F1 の熱電需給量

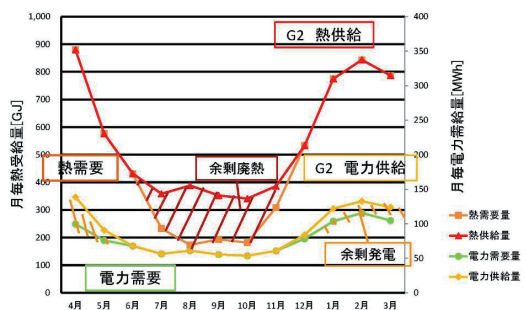


図-6 供給範囲 C における G2 の熱電需給量

供給範囲 C を例とすると、F1 の場合、熱電需給状況は図-4 となる。直接燃焼 CHP は発電効率は低く、熱回収率が高いため、最大電力負荷量から施設規模を設定し電力需要量を全量賄うよう運転を行った場合、熱需要量よりも大幅に熱が余ってしまい、年間を通して大量の廃熱が発生してしまう。

次に G1 の場合、熱電需給状況は図-5 となる。津別町における熱需要量の季節変動が電力需要量と比較すると大きいので、夏期には余剰分が、冬期には設定した熱効率では熱供給量が不足する。この時、冬期には電力需要量ではなく、施設をフル稼働し、最大限熱需要量を賄うように運転するため、わずかなではあるが電力供給量に余剰分が発生する。

G2 の場合、熱電需給状況は図-6 となる。最大熱負荷量から設定したため、施設規模は G1 のほぼ 2 倍の大きさが必要となった。この時の熱電需給状況は、夏期は熱需要が大きく下がるために電力需要量を賄うよう、冬期には熱需要量を賄うよう運転するため夏期には余剰廃熱し、冬期には余剰発電を行うこととなった。この時余剰発電量は G1 と比較すると大きくなった。

(5) 事業採算性の評価方法

(a) 木質バイオマス購入費

現在、津別町ペレット製造施設では 6,887~8,609

表-3 年間木質バイオマス必要量及び年間ペレット購入量

シナリオ	木質バイオマス必要量 (t/年)	木質バイオマス購入費 (万円/年)	ペレット購入量 (t/年)	ペレット購入費 (万円/年)
A-F1	2,679	2,307	-	-
A-G1	915	788	15.5	85.0
A-G2	952	820	-	-
B-F1	3,286	2,829	-	-
B-G1	1,328	1,143	48.6	267.0
B-G2	1,129	932	-	-
C-F1	4,821	4,150	-	-
C-G1	1,689	1,454	38.5	211.6
C-G2	1,781	1,534	-	-

円/tで森林組合から未利用材を購入しているとした(津別町ヒアリングから得られた値に密度0.5~0.4 t/m³を乗じて算出)。本研究ではこの価格を、運搬費を含めた木質バイオマス購入費として設定した。

また各年間熱電需要量と、CHP技術別発電効率、所内率、熱供給ロスから熱電を合計した総エネルギー需要量を算出した。次にエネルギー需要量から、津別町内に賦存する林地未利用材の発熱量を8.3MJ/kg⁴⁾として、月別・年間木質バイオマス必要量を算出した。なお、CHPの燃料となるチップの歩留まりは本研究では考慮せず、購入した木質バイオマスを加工する際全量がチップとなると仮定した。また各シナリオにおける年間木質バイオマス必要量及び年間ペレット購入量を表-3に示す。

(b) チップ製造費及びチップ運搬費

ペレット製造システムが既にあること、木質バイオマスの保管用地が十分にあると想定されることから、既存のペレット製造施設で、チップ製造を行うこととした。この時、既存のチップパーの生産能力は0.67t/h¹⁾であり、稼働時間を8h/日、260日/年とするとチップ供給量は約1,400t/年となり、シナリオによってチップ供給量が不足する場合がある。そのため新規にチップパーを1台、1100万円/台⁵⁾で購入することとする。またこの時、補助についてはチップパー購入費の50%として試算した。このチップパーの生産能力は3.2t/hであり、既存の物と同条件で稼働させると約6,500t/年となり、どのシナリオでもチップ需要量を賄うことができる。

また製造施設からCHP施設までのチップの運搬を行うために、新規の4tトラックを1台、550万円/台⁶⁾として購入することにした。

チップ製造におけるメンテナンス費は、チップパーについては購入費の1%⁵⁾の5.5万円/年、トラックについてはデータがなかったためにゼロとした。

各耐用年数は、チップパーは10年⁵⁾、トラックは15年⁶⁾として減価償却費をそれぞれ算出し、加えた金

額92万円/年をチップパー・重機購入費として試算した。

人件費については、チップ製造は職員1名とし、300万円/年・人と設定した。運搬については、業者委託することとし、日当1万円とし、1日あたりの往復回数を5回(運搬距離2.4km/回)として各シナリオの年間作業日数を算出した値を用いて年運搬人件費を設定した。さらに軽油価格(116.7円/L)と、4tトラックにおける燃費(6km/L)⁶⁾から求めた年間の燃料費を運搬費として試算した。

(c) 熱電併給費及び導管費

直接燃焼とガス化ではまず施設建設費³⁾について、それぞれ41.3万円/kW、56万円/kWとし、その内50%を補助するとして設定した。また今回はスケールメリットによる建設費の削減は考慮しなかった。廃炉費³⁾は直接燃焼、ガス化共に2.1万円/kWと設定した。

導管費については、61,595円/m¹⁾として試算し、更に50%を補助として仮定した(ヒアリング結果は、最も埋設しやすい条件によるものなので、埋設条件等が異なる場合には、さらに高価になると推測されたため100,000円/mも用いて試算した)。

施設及び導管の耐用年数は15年³⁾、CHP施設のメンテナンス費についてはデータがなかったために施設整備費の2%と設定した。熱電併給施設の運転は職員1名で行うと設定する。そのため人件費はチップ製造と同じ300万円/年として試算した。

(d) ペレット購入費

熱供給量が不足する際、町役場にすでに設置されているペレットボイラにより供給を補う。この時に追加で必要になるペレットについては、現在の津別町ペレット製造施設から販売価格55円/kg¹⁾で購入することにした。

(e) 熱電収入

次に供給する熱電の販売価格について、各公共施設に供給する電力と温水についてはそれぞれ、18.12円/kWh⁷⁾、温水は産業用A重油価格84.1円/L⁸⁾を参考に発熱量を換算して設定した。また余剰発電量については、先に述べたように、ゼロとして試算した。なお、供給先に設置する熱交換器導入費用を考慮すべきであるが、熱電受入側で準備すべき費用として本研究では除外した。

(6) 結果と考察

(a) CHP施設の選択と施設規模

各シナリオにおいてコスト試算を行い、その結果からCHP技術と施設規模でコスト評価を行った。密度が0.4t/m³及び導管費61,595円/mの場合の結

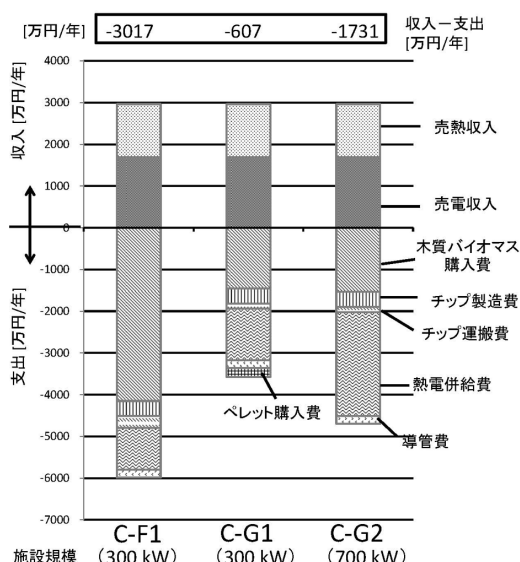


図-7 供給範囲Cにおけるコスト評価（密度 0.4t/m³，導管費：61,595 円/m の場合）

果を図-7に示す。供給範囲Cを例とすると、F1は発電効率が低いために電力需要量に合わせた運転を行うと、大量の木質バイオマスが必要となる。そのためバイオマス購入費は4,150万円/年と増大し、結果収支は3,017万円/年の赤字となった。次にG2については、ガス化での熱回収率は低いために、最大熱負荷量から施設規模を設定すると700kWと増大するため、熱電併給費は2,489万円/年と高くなり、年間収支は1,731万円/年の赤字となった。一方、G1については、冬期の熱供給量不足によるペレット購入費はかかるものの、バイオマス購入量、施設規模双方ともそれぞれ1,689t/年、300kWと抑制されることから、年間収支は607万円/年の赤字と、この3つのシナリオの中では、実現性の高いシナリオとなった。他の供給範囲についても同様であった。ここでC-G1において、密度0.5t/m³の場合、木質バイオマス購入費は1,163万円となり、0.4t/m³の時の1,454万円と比べて291万円安くなり、316万円/年の赤字で済む。一方、密度は、0.4t/m³とし導管費100,000円/mとすると、導管費は185万円から300万円と115万円増大し、722万円の赤字となる。

(b) 供給範囲

前節の結果よりG1が最も実現性の高いシナリオであったことから、G1について、各供給範囲におけるコスト評価を行った。結果は図-8に示したように供給範囲Aは725万円/年、Bは937万円/年と、供

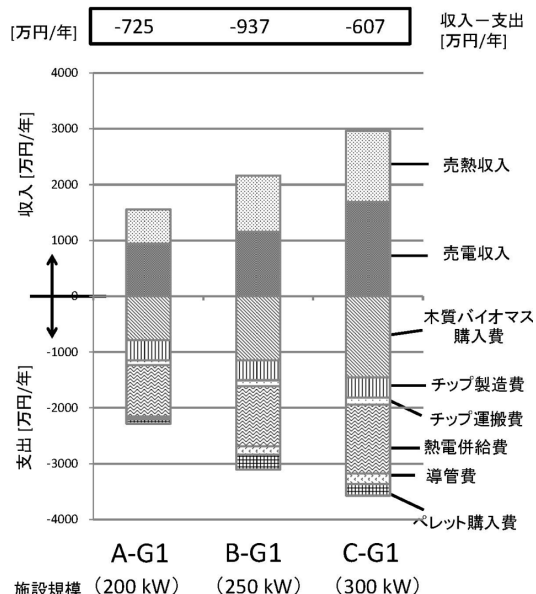


図-8 G1におけるコスト評価（密度 0.4t/m³，導管費：61,595 円/m の場合）

給範囲Cが607万円と最も赤字が抑制された。この要因として、支出の多くを占める木質バイオマス購入費と施設整備費は、供給範囲の拡大ともに増大していくが、バイオマス購入費と比較すると施設整備費についてはBからCへの増加が抑制されている。その理由としては津別町における導管費が約6万円/mと、他の事例と比較して大きく抑えられているため、配管距離の違いが支出に与える影響が小さく抑えられ、その分熱電需要量の拡大が大きく影響したためと考えられる。

4. 結論

コスト試算による事業採算性解析の結果、津別町において、

- ・供給範囲として病院および避難所である小中学校までの範囲で
- ・直接燃焼よりも発電効率の高いガス化による

小規模・自立分散型の木質バイオマスを用いた熱電併給システムについて、よりコスト削減の検討が必要ではあるが、実現性の高いシナリオであることを示した。

謝辞

本研究にご協力いただいた津別町のご担当皆様に感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 津別町ヒアリング（2014 年 12 月実施）
 - 2) 社団法人日本地域冷暖房協会：地域冷暖房技術手引書，2013
 - 3) 木質バイオマス発電等検討会報告書：木質バイオマス発電の事業性，http://www.pref.niigata.lg.jp/HTML_Simple/366/760/houkokusyo_03.pdf
 - 4) 信州しおじり木質バイオマス推進協議会：チップ体積・重量換算等資料，<http://fpp.shiojiri.com/council/files/2013/20130307-3-2.pdf>
 - 5) 小国町：木質バイオマスエネルギー利用計画策定事業調査報告書 第 1 章 木質バイオマス利用動向調査，<http://www.town.oguni.yamagata.jp/data/plan/biomass/chapter01.pdf>
 - 6) (社)全日本トラック協会：トラック運送事業の運賃・原価に関する調査 調査報告書
 - 7) 北海道電力株式会社：電力契約標準約款（高圧），<http://www.hepco.co.jp/userate/price/unitprice/unitprice04.html>
 - 8) 日本エネルギー経済研究所・石油情報センター：石油製品価格調査 http://www.enecho.meti.go.jp/statistics/petroleum_and_lpgas/pl007/results.html#headline3
- (2015. 7. 16 受付)

PROPOSAL OF A SMALL-SCALE AND DISTRIBUTED COMBINED HEAT AND POWER SYSTEM USING WOODY BIOMASS INCLUDING DISASTER CONDITIONS

Riu SHIMOJO, Toru FURUICHI, Kazuei ISHII, Atsushi FUJIYAMA

The objective of this study is proposal of a small-scale and distributed combined heat and power (CHP) system using woody biomass including disaster conditions. Financial feasibility study was conducted especially considering heat and power supply areas and technologies (direct burning system with the power generation efficiency of 10% (F1) and gasification system with 30% (G1)). The capacities of CHP systems were estimated from maximum power demand in each heat and power supply area, where public buildings around the town office. As a result, F1 was not financially feasible because the power generation efficiency is low and the large amount of woody biomass was required. In case of G1, the power generation efficiency is higher and the capacity of CHP system was smaller than F1. In addition, the purchase expense of woody biomass is cheaper than F1.