公共施設への地域熱供給における農業用温室の導入による余剰熱利用の最適化

河村　義志之

1. 研究の背景と目的

北海道の地方小都市は豊富な新エネルギー[注1)]賦存量を有し、それらの活用を目指している。特に木質バイオマスによる地域熱供給は、地域産業の振興に効果的である[1)]。しかし、これらの地域では、夜間の熱需要が小さい公共施設への地域熱供給が主であり、余剰熱の有効利用による熱需要の平準化[注2)]が求められる。

以上より本論では、地域熱供給において、夜間の熱需要が比較的多い農業用温室（以下、温室）を整備することを想定する。その際に、余剰熱が最も削減される温室の規模と、効果的な導入先を提案する。

2. 対象地の選定と温室の導入先

木質バイオマスによる町内エネルギー自給率 100% を目指し、地域熱供給を行っている下川町を対象とする。本論では、下川町における、公共施設を含んだ 6 箇所の熱供給網（以下、施設）に各々温室を導入することを検討する。

位置	出力	熱供給先施設
❶	450 kW	高齢者複合施設（4,648m²） a 老人ホーム b デイサービスセンター c 生活支援ハウス
❷	700 kW	小学校・病院（6,750m²） a 小学校 b 町立病院
❸	1,200 kW	役場周辺施設（9,230m²） a 役場 b 総合福祉センター c 消防署 d 公民館 e 町民会館 f 定住促進住宅 8 戸
❹	80 kW	a 町営住宅 6 戸（614m²）
❺	100 kW	a 幼児センター（1,037m²）
❻	240 kW	a 中学校（6,220m²）

図 1　下川町市街地の熱供給網の立地とボイラー出力

3. 各施設の熱需要の算出と特徴

3. 1　熱需要の算出方法

地域熱供給が行われている公共施設は、下川町の年間燃料購入実績[注4)]と文献[4)]より、温室は、図 2 の算出式より、冬期[注3)]の時刻別熱需要を算出した。

3. 2　各熱供給先施設の熱需要の特徴（図 3）

高齢者複合施設のピークは 9 時であり、比較的夜間の熱需要が大きい。**小学校・病院**、**中学校**のピークは 9 時であり、7～9 時に熱需要が急増し、その後、緩やかに減少する。**役場周辺施設**のピークは 8 時であり、夜間は熱需要がない。**町営住宅**のピークは 21 時であり、夜間の熱需要が大きく、12 時前後は小さい。また、他施設に比べて総熱需要が少ない。**幼児センター**のピークは 9 時であり、夜にも比較的熱需要がある。また、他施設に比べて熱需要総量が少ない。

3. 3　温室の熱需要の特徴（図 3）

ピークは 6 時であり、外気温の低い夜間の熱需要が大きく、12 時前後は日射により熱需要はない。

4. 余剰熱が削減される温室の規模

4 章では、表 1 に示す 4 つの温室導入パターンから温室導入規模を設定し、各施設に導入した際の余剰熱削減量を算出した。そこから、パターン毎に最も効果的な温室の規模を示した。また、3 章より、**町営住宅**は熱需要の特徴が温室と類似し、導入効果が小さいため、検討外とする。

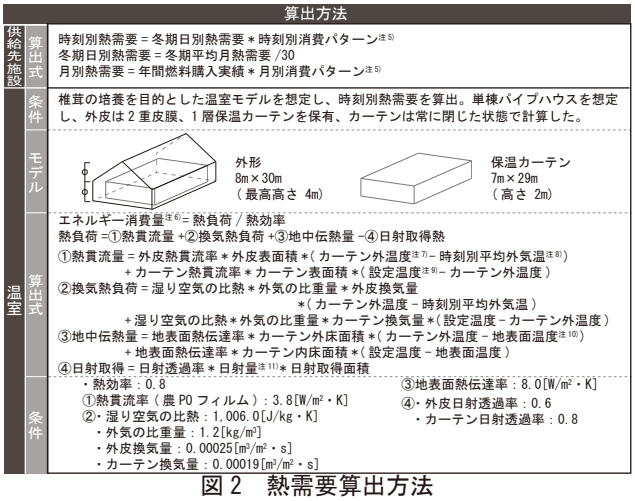


図 2　熱需要算出方法

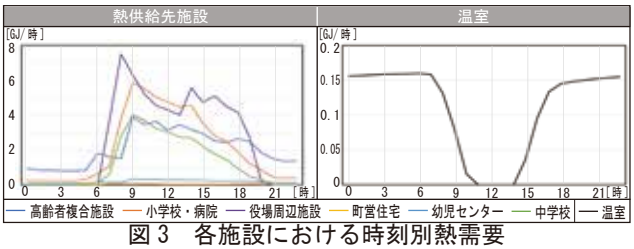


図 3　各施設における時刻別熱需要

既存出力内型（図 4-Ⅰ）木質チップで全熱需要を賄うことができるのは、**幼児センター**のみである。温室の規模は 240[m²]、余剰熱は 0.64[GJ/ 日・m²] 削減され、平準化率は 69.6[%] であった。これは、ボイラーの最大出力が熱需要と比べて大きいためである。

コスト回収型（図 4-Ⅱ）全ての施設において、余剰熱が最も削減され、平準化率は導入前より上昇した。特に余剰熱が削減されたのは**幼児センター**であり、削減量は 0.61 [GJ/ 日・m²] である。また、温室の規模は 480[m²]、平準化率は 77.4[%] であった。**幼児センター**はボイラー出力が最小であり、小規模の導入で最も平準化されたためである。

次に、平準化率が最も高い最大平準化型と、温室 1m² 当たりの平準化率の上昇度合いが高い最適平準化型について検討を行う。

最大平準化型（図 4-Ⅲ）全ての施設において、導入前と比べて平準化率、余剰熱ともに増加した。その中で最も増加量が少ないのは**高齢者複合施設**であり、0.03[GJ/ 日・m²] 余剰熱が増加した。また、温室の規模は 4,320[m²]、平準化率は 78.1[%] であった。

最適平準化型（図 4-Ⅳ）全ての施設において、平準化率は上昇したが、余剰熱は微減した。**小学校・病院**は平準化率・余剰熱削減量ともに、最大となった。余剰熱削減量は 0.19[GJ/ 日・m²]、温室の規模は 8,400[m²]、平準化率は 69.5[%] であった。導入前の昼夜の熱需要差が比較的大きいため、平準化率が大きく上昇した。

Effective Utilization of Surplus Heat with the Ideal Sized Greenhouse and Public Facilities on the Community Heating System

KAWAMURA Yoshiyuki

5. 最適な温室の規模を踏まえた導入先の提案

本研究では、農業用温室の導入により、余剰熱が最も削減される際の導入規模と効果的な導入先を明らかにした。

A. 既存のボイラー出力内で温室を導入する場合

既存出力内型（図 4-Ⅰ）幼児センターのみが全熱需要を木質チップで賄うことができる。その際、温室の規模は 240[m²] であり、余剰熱は 0.64[GJ/日・m²] 削減され、平準化率は 69.6[%] である。これは、熱需要がボイラーの最大出力に対して小さいためである。

コスト回収型（図 4-Ⅱ）全ての施設において、余剰熱削減量が最も大きくなる。特に**幼児センター**が 1m² 当たりの余剰熱削減量が多い。その際、温室の規模は 480[m²]、余剰熱は 0.61[GJ/日・m²] 削減され、平準化率は 77.4[%] である。

B. ボイラーを増設し、平準化率を上昇する場合

最大平準化型（図 4-Ⅲ）全ての施設において余剰熱が増加する。これは、温室の熱需要は 12～14 時の間はなく、相対的に夜間の熱需要が大きく増加したためである。

最適平準化型（図 4-Ⅳ）小学校・病院が、導入前の昼間の熱需要が夜間の熱需要に対して大きいため、最も平準化に効果的である。その際、温室の規模は 8,400[m²]、余剰熱は 0.19[GJ/日・m²] 削減され、平準化率は 69.5[%] である。

以上より、既存のボイラー出力内で温室を導入する場合、導入前の余剰熱の大半を削減できる**幼児センター**への導入が好ましい。ボイラーを増設する場合、多くの余剰熱を削減できる**小学校・病院**への導入が好ましい。

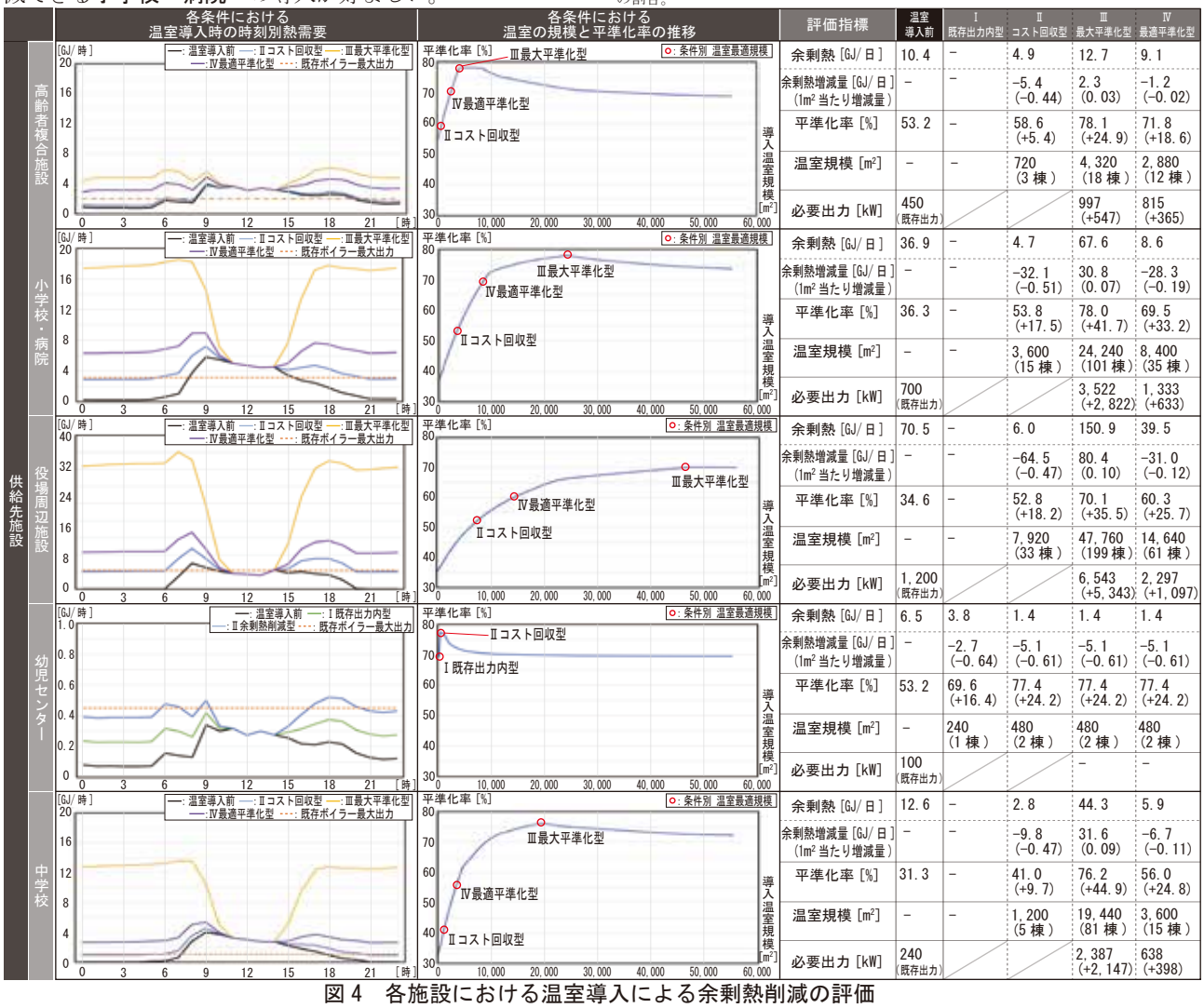
表 1　温室の導入条件と評価指標

ボイラー条件	導入パターン	温室導入条件	評価指標
A ボイラーの出力内で運用する場合	Ⅰ 既存出力内型	全熱需要を木質チップで賄う場合 ［条件式］ 時刻別熱需要最大値＜ボイラー最大出力	□余剰熱増減量 □平準化率 □温室規模
	Ⅱ コスト回収型	重油を使用し、温室導入により発生する重油使用費が余剰熱の使用による効果を上回らない場合 ［条件式］ 木質チップ使用費＞重油燃料使用費	
B ボイラーを増設する場合	Ⅳ 最大平準化型	平準化率が最大となる場合	□余剰熱増減量 □温室規模 □平準化率 □必要出力
	Ⅲ 最適平準化型	小さい規模の温室で最大限平準化される場合 ［条件式］ 平準化率の上昇率＞1 棟導入時の上昇率 /2	

		算出式
評価指標	余剰熱増減量 [GJ/日]	余剰熱増減量 [GJ/日]= 温室導入後の余剰熱 [GJ/日]− 温室導入前の余剰熱 [GJ/日] 余剰熱 [GJ/日]=Σ（ボイラー最大出力 [GJ/時]− 各時刻熱需要 [GJ/時]）
	平準化率 [%]	平準化率 [%] ＝ 時刻別平均熱需要 [GJ/時]/ 最大熱需要 [GJ/時]*100
	温室規模 [m²]	温室規模 [m²]= 温室導入棟数 [棟]*1 棟当たり面積 [m²/ 棟] 1 棟当たり面積 [m²/ 棟]=240[m²/ 棟]
	必要出力 [kW]	必要出力 [kW]= 必要容量 [GJ/日]/24/3.6 必要容量 [GJ/日]=1 日総熱需要 [GJ/日]* ボイラー負担割合注12)/100−1 日最大出力 [GJ/日]

参考文献 1) 渡邉天磨「新エネルギーの活用により地域内経済波及効果を生み出す地域像の提案」2) 下川町バイオマス産業都市構想 3) ゼロからわかる森林バイオマス熱電併給 4) 地域冷暖房技術手引書 5) 立松宏一ら「北海道における農業用温室を対象とした施設内環境解析及び構造形式に関する研究」6) 青柳志歩「学校建築を含む住宅群における木質バイオマスを用いたコミュニティ暖房システムの検討」7) 山内隆弘ら「シイタケ菌床栽培の安定化に関する基礎的研究」

注釈 注 1) 新エネルギー利用等の促進に関する特別措置法による定義「技術的に実用化段階に達しつつあるが、経済性の面での制約から普及が十分でないもの、石油代替エネルギーの導入を計るために特に必要なもの」を満たすエネルギー。注 2) 余剰熱の利用により熱需要の変動を少なくすること。注 3) 北海道では冬季暖房需要が特に大きく、熱需要に影響の大きい時期として冬期（12～2 月）に着目する。注 4) 各木質ボイラーの年間燃料購入実績。注 5) 下川町森林バイオマス地域熱電併給システム構築マスタープランより参照。注 6) エネルギー消費量を熱需要としている。注 7) カーテン外の熱平衡式より算出。注 8) 気象庁データベースより、下川町の冬期平均気温を算出。注 9) 22℃（一定）を採用。注 10) 地面の蓄熱を考慮した非定常計算より算出。注 11) NEDO データベースより、全天日射量を使用。注 12) 熱需要の内、木質ボイラーによって賄われている熱の割合。



施設	評価指標	温室導入前	Ⅰ 既存出力内型	Ⅱ コスト回収型	Ⅲ 最大平準化型	Ⅳ 最適平準化型
高齢者複合施設	余剰熱 [GJ/日]	10.4	−	4.9	12.7	9.1
	余剰熱増減量 [GJ/日]（1m² 当たり増減量）	−	−	−5.4 (−0.44)	2.3 (0.03)	−1.2 (−0.02)
	平準化率 [%]	53.2	−	58.6 (+5.4)	78.1 (+24.9)	71.8 (+18.6)
	温室規模 [m²]	−	−	720 (3 棟)	4,320 (18 棟)	2,880 (12 棟)
	必要出力 [kW]	450 (既存出力)			997 (+547)	815 (+365)
小学校・病院	余剰熱 [GJ/日]	36.9	−	4.7	67.6	8.6
	余剰熱増減量 [GJ/日]（1m² 当たり増減量）	−	−	−32.1 (−0.51)	30.8 (0.07)	−28.3 (−0.19)
	平準化率 [%]	36.3	−	53.8 (+17.5)	78.0 (+41.7)	69.5 (+33.2)
	温室規模 [m²]	−	−	3,600 (15 棟)	24,240 (101 棟)	8,400 (35 棟)
	必要出力 [kW]	700 (既存出力)			3,522 (+2,822)	1,333 (+633)
役場周辺施設	余剰熱 [GJ/日]	70.5	−	6.0	150.9	39.5
	余剰熱増減量 [GJ/日]（1m² 当たり増減量）	−	−	−64.5 (−0.47)	80.4 (0.10)	−31.0 (−0.12)
	平準化率 [%]	34.6	−	52.8 (+18.2)	70.1 (+35.5)	60.3 (+25.7)
	温室規模 [m²]	−	−	7,920 (33 棟)	47,760 (199 棟)	14,640 (61 棟)
	必要出力 [kW]	1,200 (既存出力)			6,543 (+5,343)	2,297 (+1,097)
幼児センター	余剰熱 [GJ/日]	6.5	3.8	1.4	1.4	1.4
	余剰熱増減量 [GJ/日]（1m² 当たり増減量）	−	−2.7 (−0.64)	−5.1 (−0.61)	−5.1 (−0.61)	−5.1 (−0.61)
	平準化率 [%]	53.2	69.6 (+16.4)	77.4 (+24.2)	77.4 (+24.2)	77.4 (+24.2)
	温室規模 [m²]	−	240 (1 棟)	480 (2 棟)	480 (2 棟)	480 (2 棟)
	必要出力 [kW]	100 (既存出力)			−	−
中学校	余剰熱 [GJ/日]	12.6	−	2.8	44.3	5.9
	余剰熱増減量 [GJ/日]（1m² 当たり増減量）	−	−	−9.8 (−0.47)	31.6 (0.09)	−6.7 (−0.11)
	平準化率 [%]	31.3	−	41.0 (+9.7)	76.2 (+44.9)	56.0 (+24.8)
	温室規模 [m²]	−	−	1,200 (5 棟)	19,440 (81 棟)	3,600 (15 棟)
	必要出力 [kW]	240 (既存出力)			2,387 (+2,147)	638 (+398)

図 4　各施設における温室導入による余剰熱削減の評価