

中国西部地域における気候変動に応じた省エネルギー住宅構想

Climate Change and Its Impact on Building Energy Design and Strategies in Western Region of China

○吉野泰子¹, 劉 加平², 池田耕一³, 一柳龍伸⁴, 王 岩⁵, 錢葉蓓⁶, 熊田和彰⁷, 楊 柳²

* Yasuko Yoshino¹, Jiaping Liu², Koichi Ikeda³, Tatsunobu Ichiyonagi⁴, Yan Wang⁵, Yebei Qian⁶, Kazuaki Kumada⁷, Liu Yang²

Abstract: We have directed at the climatic and local resident characteristics of the western region of China. We assessed the area of current lifestyles and customs, and living environments, both physical measurements and questionnaire surveys. It is founded on Japan-China joint research (Professor Jiaping Liu, Xi'an University of Architecture and Technology). In this paper, we describe the actual conditions of traditional houses and on the characteristic abundance of natural energy in the region (Turpan, Su Nan, Chang Yuan). We are going to develop a new model for saving energy housing adapted to available natural energy sources, with the aim of constructing traditional houses and apartment buildings reflecting the local climatic conditions. This Bio-Village concept is one of the nomad settlement plans, and in consideration the lifestyle coexisting the traditional life and livestock industry, we aim to achieve compatibility of local business development and energy conservation village.

1. はじめに

2000 年から中国政府が主導となり、西部大開発事業の進展に伴い、経済発展の妨げとなる生態環境の悪化を阻止するため、干ばつ、砂嵐などの災害に起因する土砂流失、砂漠化などが進行している地域に、退耕還林・還草政策が国の重要課題として掲げられてきた。本調査は中国西部地域における居住環境の実態と再生可能エネルギーの利用に着目し、生態環境に配慮した経済発展と共に、地域の気候風土に適した新型省エネルギー住宅モデルの提案を意図している。このような背景下、中国西部に位置する新疆ウイグル自治区トルファン市、甘肅省張掖市肅南ユグル自治県、雲南省臨滄市滄源侗族自治県における居住環境の実態調査を行った。当該地域に限られた自然エネルギーを活用した持続発展可能な居住環境改善、新型省エネルギー住宅の提案、並びに地域に密着した自然エネルギー利活用の手法について検討し、肅南県における行政主導となる遊牧民定住計画に対し、バイオヴィレッジ構想を提案した。

2. 調査概要

本研究は 2011 年～2013 年、夏期、冬期と 2 回に渡り、寒冷地域のトルファン市、厳寒地域の肅南ユグル自治県、温暖地域の滄源侗族自治県 (Fig.1～4) [1], [2] における伝統民居各 3 軒 (Photo1～9, Fig.5～13 肅南集合住宅 1 軒) を調査対象とし、通常生活条件下で西安建築科技大学と共に、温熱、光、空気、音環境実態について測定し、ライフスタイルなどのアンケート調査を併せて報告する。屋内外物理量測定調査における測定項目、測定機器、測定場所、測定方法をまとめて Table1 に示す。

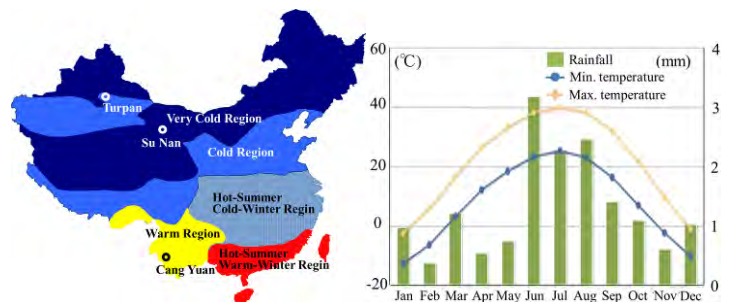


Fig.1 Survey area

Fig.2 Meteorological data of Turpan

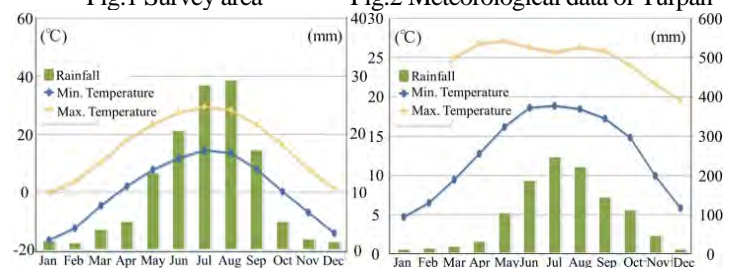


Fig.3, Fig.4 Meteorological data of Zhangye, Lincang



Photo1.Turpan No.1

Photo2.Turpan No.2

Photo3.Turpan No.3



Fig.5 Turpan No.1

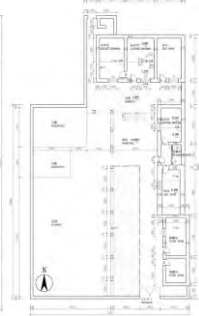


Fig.6 Turpan No.2

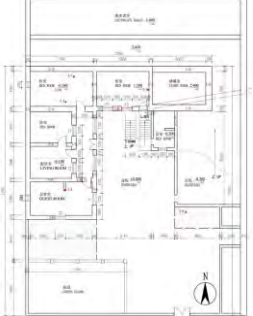


Fig.7 Turpan No.3

1 : 日大短大・教員・建築 2 : 西安建築科技大・教員・建築 3 : 日大理工・教員・建築 4 : 日大短大・教員・総合
5 : 日大理工・研究員 6 : 株式会社大林組 7 : NEC ファシリティーズ株式会社

3. 実測調査結果

トルファンの気温年較差・日較差は大きく、年間降雨量は、約 16mm と(東京は 1528.8mm^[3])、非常に乾燥している。日照時間は夏季 6 時～20 時、冬季 9 時半～18 時半(トルファンの太陽時間は中国標準時と 2 時間の時差)、夏季・冬季の全天空日射量測定結果を Fig.14 に示す。夏季の最大値は、1249W/m²(13 時半頃)と非常に高く、冬季の場合は 319.5 W/m²(14 時半頃)と低くなっているが、光熱資源は豊富である。Fig.15,16 に示すように、夏季、外気温 21.8～48.7℃、相対湿度 10%～69%であり、居室内の温湿度は、24.6～34.7℃、22%～77.4%と変動している。特に、住戸 No. 3 は半地下で最高温度 30.4℃と安定しており、生土建築の特徴が伺われる。冬季の場合(Fig.17,18)、外気温度 -14.6～0.9℃、湿度 33.4%～77.6%に対し、住戸 No. 3 の居間・寝室は、10.2～16.8℃で、変動が小さいが、No. 1 は -2.4～18.3℃と較差が大である。トルファン伝統民居の暖房方式は、石炭暖炉と放射壁の組み合わせである。熱画像の測定を見ると冬季の場合、暖炉と放射壁の効果が顕著である(Fig.19,20)。また、c1o 値:1.0、met 値:1.2 の PMV 測定結果(Fig.21)では、住戸 No. 1 寝室の PPD の変動幅が大きく、在室率が低く暖房がない場合の温熱環境の厳しさが伺えるが、台所側は、暖炉と一体化した放射壁の効果により、PMV>-0.5 と放射暖房効果を確認することができた。

肅南県の年較差と日較差も大きく、年間降雨量が少ない。比較的乾燥し、10 月 12 日～4 月 13 日は暖房期間、暖房度日は 4172℃・d^[1](札幌 2574℃・d^[3])と厳寒地域である。調査期間の全天空日射量測定結果を Fig.22 に示す。夏季では、曇天の影響で日射量が低いが、晴天になると、最大値 1458W/m²に達した。冬季でも日射量の最大値は 1048 W/m²と高く、年間平均日照時間は 2665 時間^[4]、太陽資源の豊富な地域である。外部温熱環境は平均気圧約 768hPa、夏季において(Fig.23,24)、外気温 10.3～24.8℃、雨の影響で湿度が高くなっている。居室内では 15.2～23.5℃、42%～81%と変動しており、快適な環境である。冬季(Fig.25,26)、伝統民居外壁の一部に焚き口を設け、石炭などを燃やし、「カン」と称される暖房設備を用いており、室内温度は 0～20℃と大幅に変動し、湿度は 15%～43%となっており、「カン」の影響が顕著である。集合住宅は床暖房を使用し、温度は平均的に 24℃と安定しているが、湿度は平均 15%と非常に乾燥していることが明らかとなった。「カン」の熱画像(Fig.27)を見ると、布団をかけ保温した部分の温度が 35℃となり、非常に快適である。一方、床暖房を採用している。集合住宅の熱画像(Fig.28)の場合、床面が最高 40℃、天井面が



Photo4. Sunan No.1 Photo5. Sunan No.2 Photo6. Sunan No.3

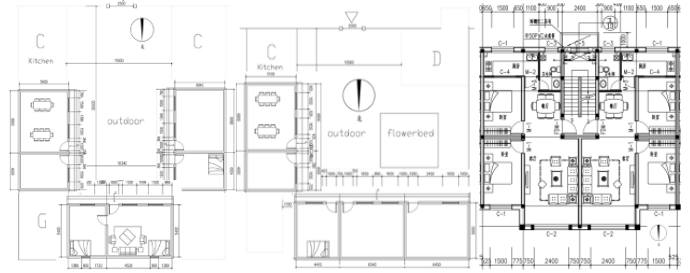


Fig.8 Sunan No.1 Fig.9 Sunan No.2 Fig.10 Sunan No.3



Photo7. Cangyuan No.1 Photo8. Cangyuan No.2 Photo9. Cangyuan No.3

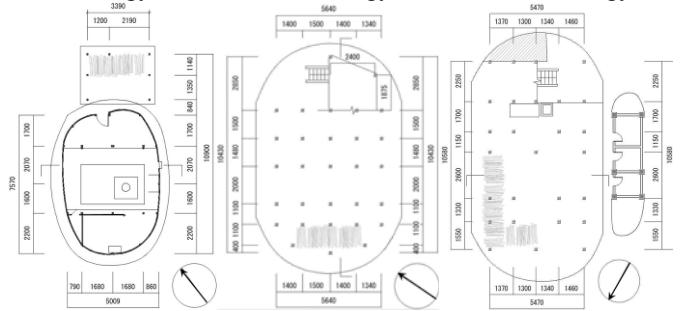


Fig.11 Cangyuan No.1 Fig.12 Cangyuan No.2 Fig.13 Cangyuan No.3

Table1. Main study subject

測定項目	測定機器	測定場所	測定方法
屋内外熱画像	赤外線サーモグラフィ Thermo Shot F30W	屋外・居間・ 寝室	随時撮影
屋内外温湿度・ 照度・紫外線	データロガー-TR-74Ui-H	屋外・居間・ 寝室	1分間隔
大気圧	データロガー TR-73U	屋外	1分間隔
室内上下温度	熱電対用 温度ロガー LR5021	居間	1分間隔
浮遊粉塵量	光散乱式デジタル粉塵計MODEL3442	居間	1分間隔
室内CO ₂ 濃度	CO ₂ モニター Telsaire 7001	居間	1分間隔
室内CO濃度	COガス データロガー ELUSB-CO	居間	5分間隔
屋外気流	熱線式風速SDカード記録計AM-14SD	屋外	5分間隔
生活騒音	騒音レコーダー SD-24SD	屋外	10分間隔
太陽放射	紫外線・日射量・照度計TM-208	家畜小屋上	1分間隔

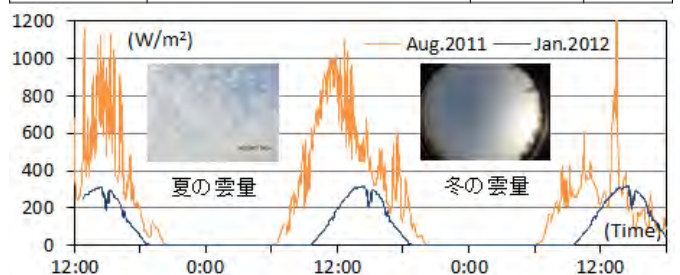


Fig.14 Measurement results of solar radiation (Turpan)

30℃と、エネルギー消費と健康の側面から課題が示された。実験で得た居室内の温度、湿度の中央値をASHRAE Standard55(アメリカ暖房冷凍空調学会-室内の温熱環境快適性評価)にプロットしたものがFig.29である。夏期全居室の温度はASHRAEで推奨される快適ゾーン範囲より低く、特に問題は見受けられなかった。しかし、冬期の温湿度では、両民居共に快適ゾーンから大幅に外れ、集合住宅(乾燥しているが、温度は快適ゾーンにある)との間に顕著な差が生じた。また冬期では、住戸No. 1, No. 3の居間でのPMV測定結果(Fig.30)も同様な傾向を呈し、同一条件下(clo=1.0, Met=1.2)において、No. 1のPMV値は-1.0~-2.5であるのに対し、No. 3はPMV値1.0前後に維持される。それら新旧住宅の躯体性能及び暖房方式の相違が温湿度変化に大きな影響を与えたことが実測から明らかとなった。

滄源回族自治区は亜熱帯季節風気候区に属している。年間を通して温暖な気候に恵まれ、年平均気温は16.8℃~17.7℃である。年間降雨量は1756mmと豊富であり、乾季と雨季が明確である。屋外大気圧は約847hPa、全天空日射量(Fig.31)について、夏季晴天時における最大値は1603 W/m²、冬季においては1255 W/m²と高い値を示した。Fig.32~35に居間の温湿度測定結果を示す。居間の温度は、夏季19.5℃~30.5℃、冬季10.1℃~24.6℃、相対湿度は夏季54.6%~92.2%、冬季51.0%~79.3%となり、午前から日中にかけて湿度が90%と高いのが特徴である。居間における上下温度差を見ると、夏季に比し、冬季の方が大きくなっている。

4. アンケート調査結果

実測と並行して住民の温熱、空気質、光、音環境に関する意識を把握するため、アンケート調査を実施した。肅南県の場合、調査方法は面接誘導設問方式で、35件の有効回答が得られた、温熱環境:満足度の結果(Fig.36)では57%がやや満足と答えたが、Fig.37 改善意識の有無の結果では[寒さ]、[乾燥]と[暖房方式]において高い改善意欲が示された。両項目に生じた不整合は長年の慣れと経済的な事由に帰結され、改善の必要性が高い。空気質:66%がやや満足と答えたが、[換気]、[炊事排煙]、[粉塵]に関して、高い改善意欲が示された。冬期において、換気不足による空気質の悪化が危惧される。また石炭による粉塵の発生を気にする人が63%を超え、換気及び暖房方式の改善策を必要とする。光環境・音環境:光環境では、約86%の人がやや満足と回答したものの、改善要望は約20%であった。音環境では、隣室、外部騒音に対する住民の改善要望度は約20%となっているが、温熱環境ほど大きな問題となっていない。

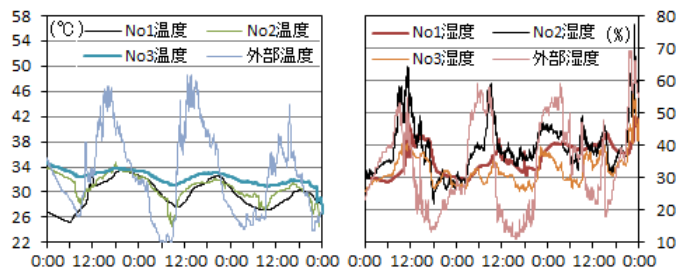


Fig. 15, Fig. 16 Measurement results of temperature and Humidity of living room in each house (August, Turpan)

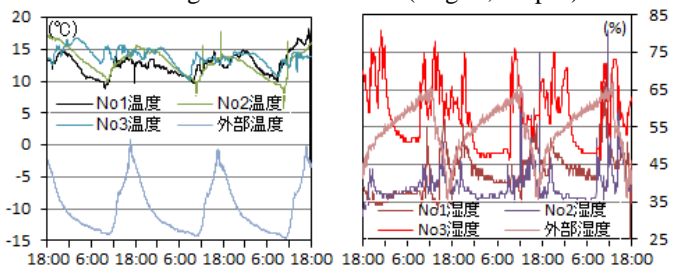


Fig. 17, Fig. 18 Measurement results of temperature and humidity of living room in each house (January, Turpan)

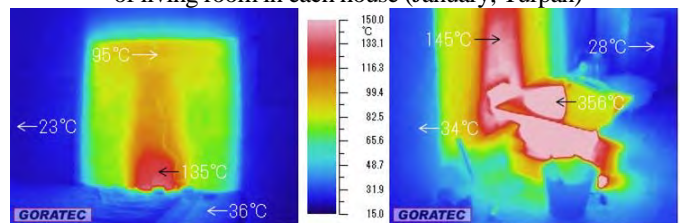


Fig. 19, 20 Thermography of radiant wall in winter (On the bed room side and kitchen side, January, Turpan)

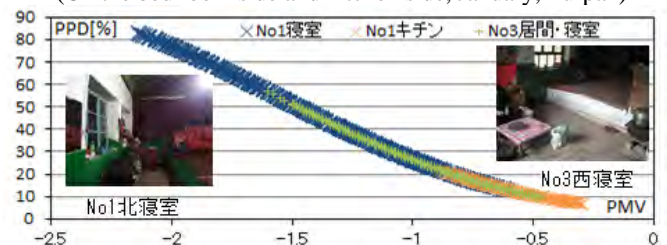


Fig. 21 Relationship between PMV and PPD (Jan., Turpan)

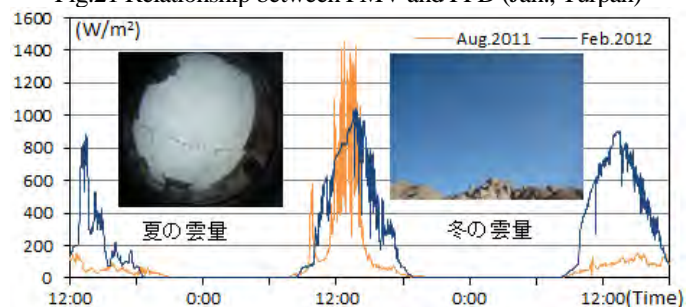


Fig. 22 Measurement results of solar radiation (Sunan)

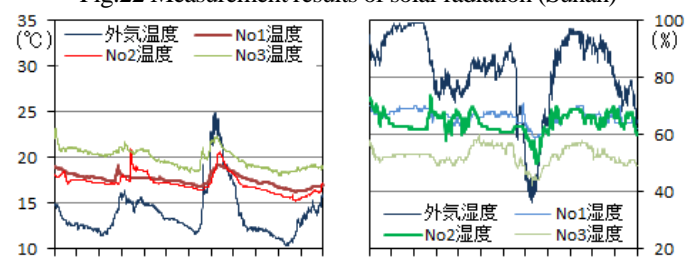


Fig. 23, Fig. 24 Measurement results of temperature and Humidity of living room in each house (August, Sunan)

5. 肅南ユグル族自治県における改善策の検討

実測調査の結果では、厳寒地域に属する肅南県の民居は、夏季室内において、特に空調設備による冷房の必要性は低い。一方、冬季では、厳しい寒さゆえに高断熱、且つ高効率な暖房設備を備えた家の需要度が高いということが分析により明らかとなった。現地の気候風土、文化、ライフスタイル及び経済状況を考慮した上、持続可能な住環境整備が必要とされる。

5.1 既存民居における断熱改善の解析(Q 値)

冬期、外気温度の変動幅が旭川³⁾に相当する当地域は、改善に先立ち、既存民居の躯体性能を把握するため、熱損失係数 Q を算出する。肅南民居 No. 1 中央棟を改善モデルとし、躯体構造により、外壁、屋根、床と開口部の熱貫流率を算出し、既存民居の熱損失係数 Q は 6.82 (W/m² K) となる (Table2)。部位別損失量 (Fig.38) を比較すると、躯体から逃げた熱量は全体の 70% を占め、厳寒地域に属するこの地区では、厳しい気象条件下で住宅の断熱性能が極めて劣っている様子が伺える。

5.2 既存民居の温熱環境解析概要及び結果

5.2.1 解析方法と条件設定

温熱環境解析は、研究分野に広く用いられる三次元熱流体解析システム (STREAM Ver. 8 株式会社ソフトウェアクレイドル) を用いた。解析対象となる建物の平面図と 3D モデルを作成し、定常と非定常解析により、室内の温度分布をもとめる。

常解析: 定常解析とは、気流の流れ状態が時間によって変化しない流れのことを指す。定常解析を用い、初期に設定した諸条件の基に、モデル室内の気流と温度がある安定状態に達する時の気流と温度分布を求める。なお、初期解析に与えた諸条件は Table3,4,5 に示す。

非定常解析: 流れの状態が時間と共に変化する状況下での解析である。当検討においては、定常解析で得た定常状態に達した時の値をスタートとし、実測した外気温度と日射量条件下において、24 時間モデル内の気流と温度の時系列変化を解析する。

5.2.2 既存民居解析結果

モデル室内温度変化の解析結果と実測値を比較すると、10 時~17 時までには、温度のずれが生じたが、これは暖房器具の使用と日射の影響と考えられる。その他の値はほぼ同様な傾向を示し、解析結果はモデル躯体の性能を正確に反映したと見なせる。

5.2.3 改善プランの提案

躯体性能の弱点から、外壁、天井、開口部の断熱性能を補うことにより、熱損失を抑え、モデルの温熱環境改善を試みた。Table6 はプラン仕様を示す。躯体部の断

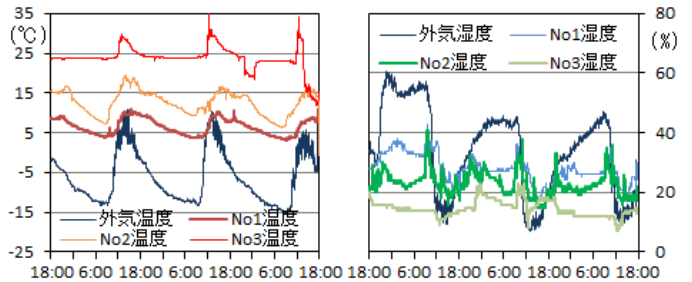


Fig.25, 26 Measurement results of temperature and humidity of living room in each house (February, Sunan)

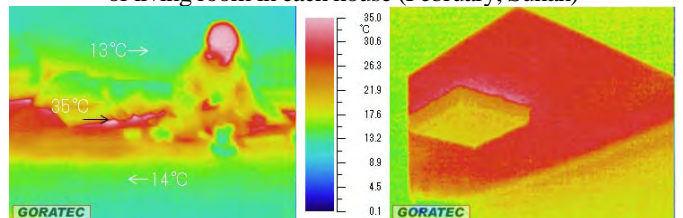


Fig.27, 28 Thermography of "Kang" and Ceiling (House No.1/Apartment house, Feb., Sunan)

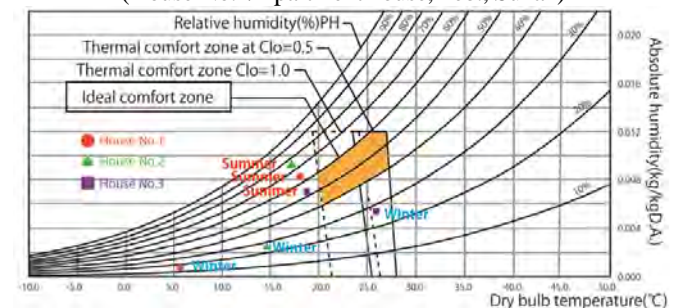


Fig.29 Thermal environmental comfort chart of Sunan

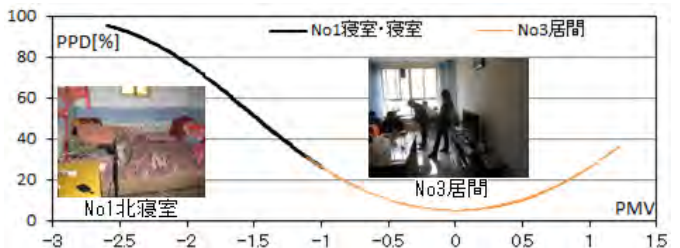


Fig.30 Relationship between PMV and PPD (Feb., Sunan)

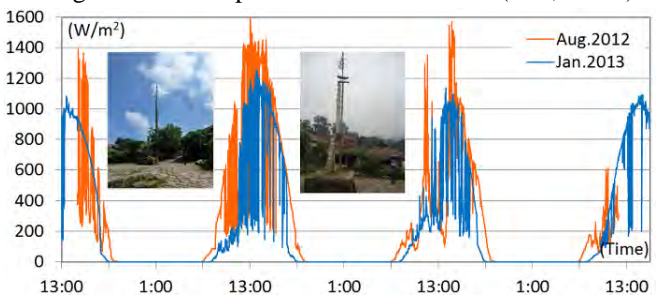


Fig.31 Measurement results of solar radiation (Cangyuan)

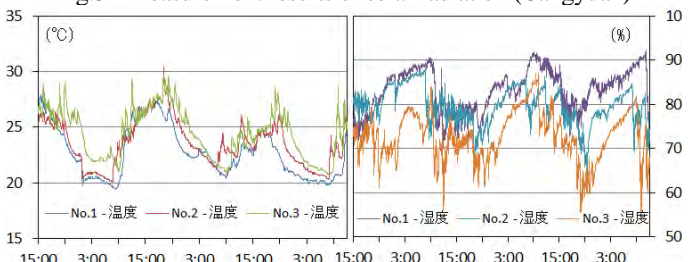


Fig.32, 33 Measurement results of temperature and Humidity of living room in each house (August, Cangyuan)

熱材は、羊毛断熱材(地場産業育成の可能性)と中国で普及している EPS 板(Expanded Poly-Styrene)を用い、開口部には、複層ガラスを導入した。Case4, 8 はモデルの南側にサンルームを増築したことより、南側居室外壁の熱貫流率には緩和係数(=0.6^[1])を適用する。また、増築した部分の床に石材を用い、ダイレクトヒートゲイン効果を狙う。解析方法は既存と同様に、材料の物性値及び断熱構法と熱貫流率を Table7,8,9, Fig.39 に示す。

5.2.4 改善プランの熱損失係数 Q の算出

Table 2 と同様に、Case1~8 各々の熱損失係数 Q を算出し、その値を Table 6 に示す。次世代省エネルギー基準により、第 I 地域に相当する当地域において、Case1, 2, 3, 5 は断熱性能 1 等級となり、Case4, 6, 7, 8 は 2 等級に相当する。

5.2.5 改善プランの解析結果

Fig.40 は各種改善プランによる室内温度の経時変化を示す。温度の上昇傾向は、熱損失係数 Q 値に相応するが、全ケースは躯体性能の強化により、夜間の室内温度が著しく改善された。また、断熱材の熱伝導率の差違により、同条件下では羊毛断熱材より EPS 板を用いた方の室温が高い。改善度の低い Case1 の場合は、既存より 4°C 上昇し、室温が 5.8°C となった。改善度の高い Case8 の場合は、既存より 7.6°C 上昇し、室温が 9.4°C となった。特に Case4, 8 の場合、南側にサンルームがある為に、日中居室内の室温上昇幅は Case3, 7 より低いものの、サンルームの躯体と床に蓄熱され、夜間になると室内に放熱することから、夜間の室温が高くなっている。

5.3 年間暖房負荷の比較

拡張デグリーデー法^[5]に準じ、既存モデル及び各ケースの年間暖房負荷を算出する。

$$\text{年間暖房負荷 (MJ/Y)} = 24 \times S \times [q \times (T_r - T_o) - \mu \times I - e - v] \quad \dots \text{Equation (1)}$$

S: 床面積 (m²) q: Q × 3.6 (kJ/m²·K)
 Tr: 設計温度 (K) I: 日射量 (kJ/m²)
 To: 日平均外気温 (K) μ: 夏期日射取得係数
 e: 顕熱=16.70 kJ/m²h v: 熱回収装置による回収熱

Equation1 に、既存民居の基本データ (Table 10) と各月の平均気温、日射量 (Table 11)^[6]を代入し、算出した既存モデルの月別暖房負荷を Fig.41 に示す。年間暖房負荷の累積量は 25674.2 kWh となる。1kg の石炭の発熱量が 22.5 MJ^[7]とすると、年間を通して約 4 トンの石炭使用に相当する。Fig.42 は各ケースの年間暖房負荷の結果を示す。既存モデルより Case8 は年間暖房負荷の累積が 5953.6 kWh、石炭に換算すると 0.953 トン/年。Q 値 2.0 W/m² K の家は最大-76.8%の削減効果が期待できる。

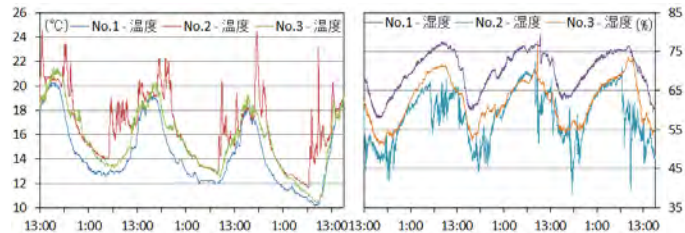


Fig.34, 35 Measurement results of temperature and humidity of living room in each house (January, Cangyuan)

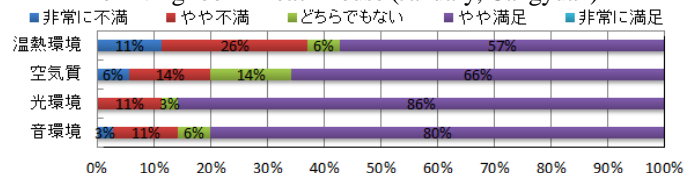


Fig.36 Results of the degree of satisfaction

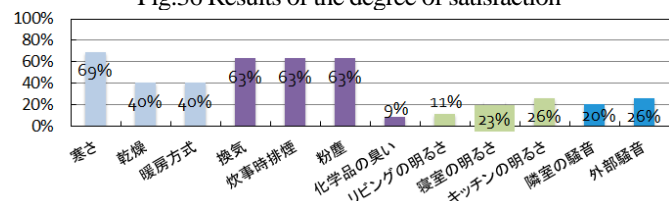


Fig.37 Desired improvements and number of respondents

Table 2 Heat loss coefficient of existing house

部位	仕様(mm)	面積 (m ²)	熱貫流率 (W/m ² ·K)	熱損失係数 (W/K)	
外壁	南面レンガ壁	普通煉瓦+しっくい	25.27	1.74	43.97
	東土壁	土煉瓦+しっくい	18.38	1.74	28.47
	西土壁	土煉瓦+しっくい	16.38	1.74	28.47
	北土壁	土煉瓦+しっくい	30.78	1.74	53.52
	天井	屋根	瓦+野地板	62.27	1.68
床	床	コンクリート+モルタル+タイル	62.27	0.51	31.76
開口部	南面窓1	単板ガラス(4)+窓枠(80)	2.25	6.37	14.33
	南面窓2	単板ガラス(4)+窓枠(80)	2.25	6.37	14.33
	南面窓3	単板ガラス(4)+窓枠(80)	2.25	6.37	14.33
	北面窓1	単板ガラス(4)+窓枠(80)	0.63	6.37	4.01
	北面窓2	単板ガラス(4)+窓枠(80)	0.63	6.37	4.01
玄関ドア	木製扉(70)	2.44	1.43	3.49	
換気	室容積(m ³)	換気回数	Cp (J/m ³ ·K)	26.47	
158.0	0.5		1206		
総合熱貫流率KS(W/K)				371.78	
延床面積(m ²)				54.49	
熱損失係数Q(W/m ² ·K)				6.82	

Fig.38 Heat loss Table 3 Condition 1

期間: 2月14日~2月15日	開始時刻: 7:00
緯度: 38.86°	経度: 99.57°
標準時の緯度: 120.35°	

Table 4 Analysis condition 2

Table 5 Analysis condition 3

材料	密度 [Kg/m ³]	比熱 [J/(Kg·K)]	熱伝導率 [W/(m·K)]	熱容量 [KJ/m ³ ·K]
タイル	2400	840	1.3	1932
赤レンガ	1650	840	0.62	1802
粘土	1700	1800	1.2	1285
モルタル	2000	800	1.3	2306
PCコンクリート	2400	790	1.3	1920
ガラス	2190	740	1.38	2022
木材	300	1300	0.129	1113

Table 6 Specification of improvement plan

	断熱材		外壁			屋根断熱材		窓		サンルーム	Q 値 (W/m ² ·K)
	羊毛断熱材	EPS断熱材	100(mm)	100(mm)	240(mm)	単板ガラス	複層ガラス				
Case1	○		○	○		○					3.88
Case2	○		○	○		○					3.20
Case3	○		○	○	○	○					2.87
Case4	○		○	○	○	○		○	○		2.70
Case5		○	○	○		○					2.96
Case6		○	○	○		○					2.28
Case7		○	○	○		○					2.07
Case8	○	○	○	○	○	○			○		1.99

Table 7 Improvement materials

Table 8 Steel building frame

部位	材料	密度 [Kg/m ³]	比熱 [J/(Kg·K)]	熱伝導率 [W/(m·K)]	熱容量 [KJ/m ³ ·K]	熱貫流率 [W/(m ² ·K)]
外壁	羊毛断熱材	380	1400	0.116	—	0.63
	EPS断熱材	20	1.01	0.04	—	0.31
天井	羊毛断熱材	2200	750	—	—	0.40
	EPS断熱材	—	—	—	—	0.16
窓	床: 花崗岩	2800	840	3.5	2268	1.7(複層ガラス)

6. 肅南県におけるバイオヴィレッジ構想

2005 年「中華人民共和国再生可能エネルギー法」が決議され、国内の深刻なエネルギー不足問題を解決するため、農村地域の再生可能エネルギーの開発利用が推奨されている。これは、農業構造問題が農村と都市部との所得格差を引き起こし、経済発展を遅らせることが背景にある。また、甘肅省は地理上家畜の養殖に非常に適し、畜産業の高効率化による省民の収益増を掲げ、年々産業規模を拡大してきた。本構想は、それらの背景を考慮し、肅南県にバイオマス資源利用システムを整備することにより、住環境の快適化、かつ当地域の牧畜産業構造改革の実現に繋がることを意図している。

住民はメタンガスの原料となるバイオマス資源を提供し、地域メタンガスボイラーにより、熱を供給する。また、将来コジェネレーション発電装置を加えれば、発電も可能となる。更に、当地域は太陽光資源が豊富なため、太陽熱温水器を各住戸に搭載し、暖房や給湯の熱源利用に適用する (Fig.43,44)。このバイオマスヴィレッジ構想 (Fig.45) は、遊牧民定住計画の一案であり、伝統に準じた住いと畜産業が共存するライフスタイルを配慮しつつ、新たにエネルギーの地域連携を前提に、地場産業の育成と省エネルギー村落の両立を図る。

7. まとめ

実測調査の結果に基づき、筆者らが現地視察時に感じた土地特有の伝統文化を考慮し、当該バイオヴィレッジ構想を提案した。本構想は、肅南県にバイオマス資源利用システムを整備することにより、住環境の快適化、かつ全地域の牧畜産業構造改革の実現に繋がることを意図している。しかし、高度な技術力、並びに行政支援と住民の理解が要される本構想を、速やかに実行するのは困難が伴うものと思われる。今後中国農村改革が進み、大きな飛躍を成しとげる時、産業拡大と環境保全の両立抜きには語れない。今後の発展を見据え、現地の行政機関と住民の良識ある判断に期待する。

[謝辞]

本研究は平成 23 年度「日本大学理工学部プロジェクト研究」及び文科省「科学研究費」[基盤研究(C)代表:吉野泰子]の助成による。調査に際し、多大なご協力を頂いた日大理工学部井上勝夫教授をはじめ、青木和夫教授、日大生産工学部三上功生助教、貴重な御助言を頂いた桐蔭横浜大学宮坂力教授、滋賀県立大学張晴原教授に深く謝意を表します。

参考文献

- [1]中国国家標準 民用建築断熱設計規範 GB50716-93
- [2]中国気象局 <http://www.cma.gov.cn>
- [3]「理科年表プレミアム」自然科学研究機構国立天文台、丸善出版(株)
- [4]張掖市政府 HP <http://www.zhangye.gov.cn>
- [5]平成 13 年国土交通省告示第 1347 号 5-1 省エネルギー対策等級評価方法基準
- [6]中国国家気象センター気象資料室
- [7]経済産業省資源エネルギー庁 総合エネルギー統計検討会事務局 [エネルギー源別標準発熱量一覧表]2005

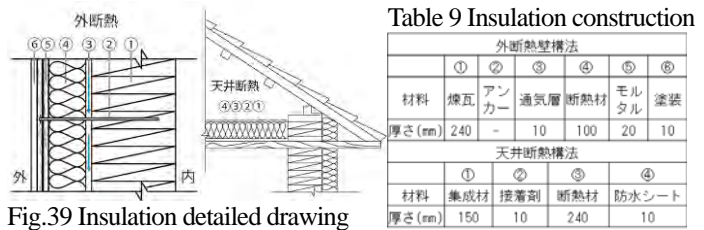


Fig.39 Insulation detailed drawing

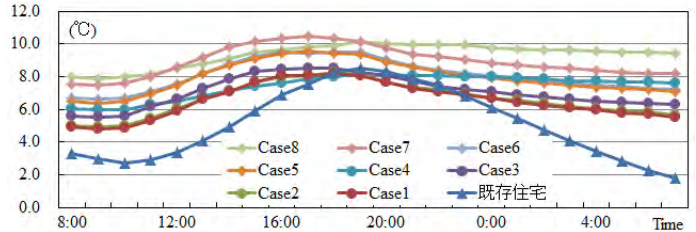


Fig.40 Indoor temperature comparison

Table 10 Heating-load calculation (Extended degree-day method)

S	q	T _r	T _o	μ	I	eI	v
(m ²)	(kJ/m ² K)	(°C)	(°C)		(kJ/m ²)	(kJ/m ²)	(kJ/m ²)
54.49	Q*3.6	18	月別日平均温度	0.143	月別日平均日射量	16.70	0

Table 11 Condition 4

月	平均気温 To(°C)	日射量 I(MJ/m ²)
1月	-9.2	88.1
2月	-5.2	97.1
3月	2.0	123.6
4月	9.9	154.7
5月	15.8	178.7
6月	19.5	186.6
7月	21.5	170.1
8月	20.3	158.3
9月	14.6	119.8
10月	6.9	102.4
11月	-1.0	76.8
12月	-7.4	81.1

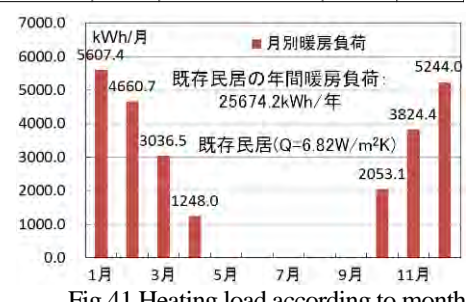


Fig.41 Heating load according to month

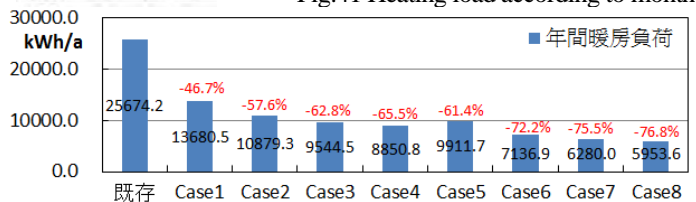


Fig.42 Annual heating load comparison (Existing, Improvement)

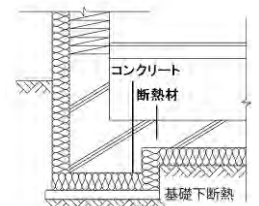
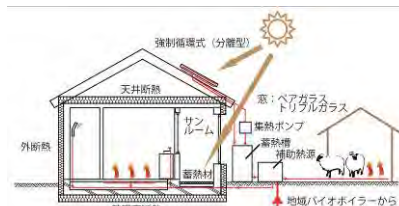


Fig.43 Heat supply system

Fig.44 Thermal insulation foundation

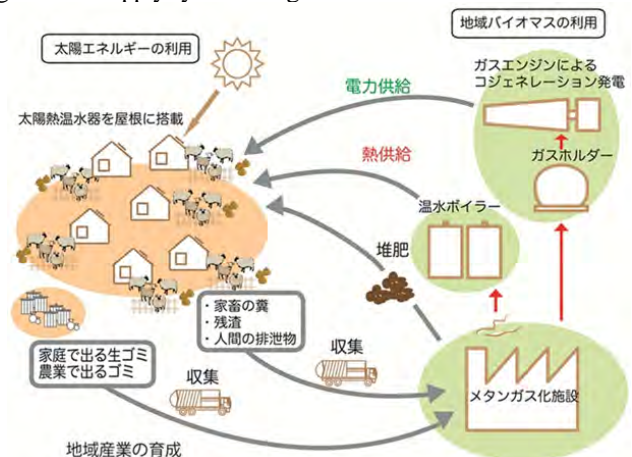


Fig.45 BioVillage design of Sunan Yugur autonomous county