

暖房用ロケットストーブの制作要点に関する実験研究

市川 尚紀*1, 森 崇弥*2

Experimental Study on Main Point in Production of Rocket Stove for Heating

Takanori ICHIKAWA*1 and Shuya MORI*2

A rocket stove is ecological and new facilities. However, there are few studies on rocket stoves. In this paper, we developed a rocket stove with heating facility and furniture function, and conducted an experiment on heating effect. Then, this is a fundamental study, which is to be useful for future rocket stoves development. From the results of each experiment, the heating performance of the rocket stove and points in the production are as follows. The important points for development of a rocket stove are these: thickness of an insulation material, cross-section area of a heat riser, inflow of air, reasonable dimensions ratio. However, it could not make comfortable indoor environment because the airtightness of a house is very low.

Keywords: Rocket Stove, Heating, Energy Conservation

1. はじめに

1.1 背景と目的

近年, 私たちの生活に警鐘を鳴らす地球温暖化問題や化石燃料の枯渇問題などにより, 国レベルでの政策だけでなく, 国民自らも生活を見つめ直して, 気づいたところから持続可能な地球環境を取り戻す工夫と努力を始めなければならない。それは, 価値観の再考を求められることでもあり, グローバルな課題への取り組みは, ともすれば抽象的になりがちであるため, より具体的に取り組むために有効な手段は, 身近な課題として「地球環境にいいこと」にこだわってみることから始めることではないだろうか。そこで本研究では, 石油, 石炭などの化石燃料に依存せず, クリーンで省エネルギーな家庭用暖房システムとして, 近年開発されたロケットストーブの今後の発展性に着目した。ロケットストーブは, 元々は家庭の家具と一体化された暖房設備としてアメリカで開発されたもので, その熱を利用して調理することも可能なものに発展するはずであった。それを各家庭で工夫を凝らしながらセルフビルドで制作・設置をすることで, できるだけ多くの人々がロケットストーブの仕組みを理解し, 環境学習もできるという思想があるため, 今でも

既製品は製造されていない。

しかし, 暖房設備としてのロケットストーブは規模が大きくなるため, 環境問題に関心のある一般市民が興味を抱いても, 制作するのは比較的小さい調理目的だけのものが多いのが現状である⁽¹⁾⁻⁽³⁾。その結果, 暖房設備としてのロケットストーブに関する研究資料はほとんど存在せず, また, アメリカで発案された際の基礎的な構造についての図面⁽⁴⁾は存在するが, 各部に用いられる材料や寸法値がアメリカで売られている既製品の規格に沿ってつくられており, わが国で初心者が容易に制作できる資料とはなっていない。

このように, 新しい発想による環境にやさしい技術が開発されながら, その知見が活かされていないため, ロケットストーブを制作するときに把握しておくべき要点を整理し, 我が国で容易に入手でき, かつ安価な既製品で制作する場合の一例としての設計図面を作成することができないかと考えた。そこでまず, 材料や規格を変えた試験体で予備実験を行い, 次に実物大のロケットストーブを1台制作して暖房実験を行うことで, 一般市民がロケットストーブを制作する上での有用な資料を作成することを目的とした。

原稿受付 2018年5月14日

*1 近畿大学工学部 建築学科 准教授 (〒739-2116 東広島市高屋うめの辺1番)

E-mail ichikawa@hiro.kindai.ac.jp

*2 大昌工芸 (〒733-8531 広島市西区小川内町2丁目15-2)

連絡先: 市川尚紀 (研究代表者)

1.2 ロケットストーブの概要

ロケットストーブは、持続可能な生活の研究、教育を目的とし、NGO AProvecho のテクニカルディレクター、ラリー・ウィニアルスキー博士によって 1982 年頃に開発された効率の良い燃焼原理のストーブである。ウィニアルスキー博士がロケットストーブを開発した目的は、発展途上諸国や難民キャンプにおいて木質燃料を使用することから起こる環境問題（森林伐採、排気による気候変動への影響など）や、料理や暖房のために室内でかまどや焚き火などを使用した時に、不完全燃焼の排気を吸う事による健康被害などの解決を目指すことから始まった。つまり、ロケットストーブの基本思想は、薪の使用量の削減とクリーンな排気ということになる。そのロケットストーブの燃焼方法は、開放された鉄製の L 字パイプの水平部（フィードチューブ）に薪をいれ、それに着火すると、薪から発生した燃焼ガスが燃焼トンネル（バートンネル）を通り、断熱された垂直のパイプ（ヒートライザー）内で燃焼しながら急激に膨張し、そのパイプの中を勢い良く上昇していく。このように、比較的簡単な構造で未燃焼ガスをほぼ燃やしきることができるため、燃焼効率が良く、排気もクリーンなのがロケットストーブの特徴である。

2. 研究の方法

まず、ロケットストーブの制作事例の観察と制作者へのヒヤリングを行い、その仕組みや構造、材料について理解を深める。次に、ロケットストーブの構造、材料などを変えた試験体を作り予備実験を行う。そして、実物大の古民家にロケットストーブを設置し暖房実験を行う。これらの項目、日程、方法、測定機器を表 1 に示す。

表 1. 実験方法

	項目	日程	方法	測定機器
1	事例調査 構造 仕組み 製作要点	2017. 7. 2 2017. 11. 5 2017. 11. 11	実測 ヒヤリング	
2	予備実験 構造 仕組み 製作要点	2017. 6. 26～ 2017. 11. 1	目視	サーモグラフィ
3	暖房実験 暖房効果 製作要点	2017. 12. 16 2017. 12. 24	温度計測	温湿度データロガー サーモグラフィ PMV計

3. 結果と考察

3.1 事例調査結果

今回の調査対象事例は、わが国で初めて制作された広島県三次市の共生庵と、2017 年 11 月 11～12 日に行わ

れたロケットストーブ・イベント（私はストーブだ）に出品されたものを対象とした。調査内容は、実際に制作・使用されているロケットストーブ各部の寸法の実測、実際に使用した際の問題点、制作時における留意点等のヒヤリングを行った。

(1) 共生庵の事例

広島県三次市の共生庵の事例は、日本ロケットストーブ普及協会の会長である荒川純太郎氏が最初に制作したロケットストーブ（図 1）である。ドラム缶を用いたタイプのもので、排煙のダクト部分を用い、コの字型の座面が加熱されるベンチが併設されている。荒川氏からのヒヤリング調査では、荒川氏が制作時に把握した留意点と使用時における留意点の 2 点についての聴き取りを行った。制作時において重要な留意点は、ヒートライザー周りの断熱材の層を均一な厚さにしないことによってダクト内に対流が発生し、燃焼が強化されることがわかった。また、使用時における留意点は、ヒートライザー部分に先に熱を入れると、気流がうまく発生し着火がスムーズになるということがわかった。



所在地	広島県三次市三和町敷名
施主	荒川 純太郎
制作年月日	2006.1.18
材料	ドラム缶 200L 1個 ドラム缶 100L 1個
断熱材	砂
煙突用パイプ	約 12m

図 1. 共生庵のロケットストーブ

(2) ロケットストーブ・イベントの出品事例

ロケットストーブ・イベントに出品されていた事例は 19 種類見られた。これらの事例を分類し、共生庵の事例

と同様に、制作時における留意点と使用時における留意点について質問し、得た知見を、以降の予備実験の試験体タイプ検討の参考にした。

3.2 予備実験結果

ここでは、各部の仕様の異なる全 20 種類（表 2）の実験用小型ロケットストーブを制作し、より燃焼する試験体の仕様を把握した。具体的には、各試験体を本体となる缶の直径や高さの差異から A,B,C,D の 4 種類に分類し、比較項目として断熱材、フィードチューブ（焚き口）、バートンネル（燃焼トンネル）、ヒートライザー（熱上昇トンネル）の各部の設定を変更し、各部の変化による差異の観測を行った。調査項目は、目視による燃焼状態の確認、サーモグラフィーを用いた各部の伝熱状況、時間の経過による変化の 3 項目の調査を行い、予備実験データシートを試験体ごとに作成した（図 2）。

制作した試験体の制作基準は、材料もしくは構造面で、他タイプとの比較を行えることである。タイプ A では他タイプとの比較を前提に断熱層を薄く、タイプ B,C ではオリジナルの図面の寸法比率と近いものを制作した。タイプ D では、ロケットストーブの心臓部分であるヒートライザーの長さの変化による燃焼状態の変化を観測することを重点とした。また、日本規格のロケットストーブ図面の作成に活用可能なデータ収集も行った。

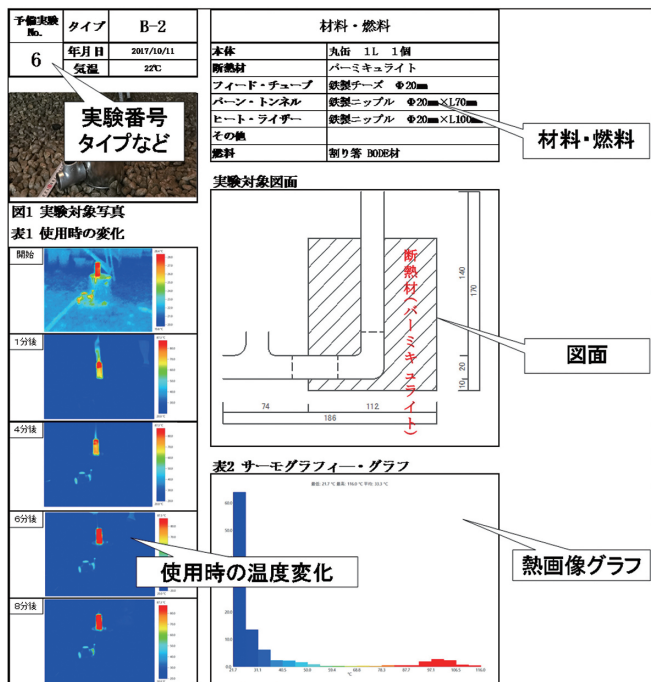


図 2. 試験体データシート

表 2. 予備実験の試験体

		断熱材			フィードチューブ			バートンネル			ヒートライザー		
		パーミキュライト	パーライト	砂	エルボ	チーズ	空き缶	Φ20mm	Φ20mm	無し	Φ20mm	Φ20mm	Φ53mm
					Φ20mm	Φ20mm	Φ53mm	50mm	70mm	150mm	100mm	209mm	
A	1	○			○			○			○		
	2	○				○		○			○		
	3			○	○			○			○		
	4			○	○			○			○		
B	1	○			○			○			○		
	2	○				○		○			○		
	3			○	○			○			○		
	4			○	○			○			○		
	5	○				○			○		○		○
C	1	○			○			○			○		
	2	○				○		○			○		
	3		○		○			○			○		
	4		○		○			○			○		
	5			○	○			○			○		
	6			○	○			○			○		
	7	○				○			○		○		○
	8			○		○			○		○		○
D	1		○					○			○		
	2		○					○			○		○

(1) 目視による観測結果

タイプ A では、フィードチューブがエルボの試験体とチーズの試験体を比較すると、連続燃焼時間と火力ともにチーズの試験体の方が良好な状態が確認された。タイプ B では、タイプ A に比べて安定した燃焼が確認できた。また、ダクトの直径に差を持たせたタイプを比較すると、直径の大きなタイプのものが効果力を維持できていた。タイプ C では、タイプ A と比較して熱材の層が厚い分、高火力が確認できた。タイプ D では、ヒートライザー一部分が長いほど安定して効果力を維持できることが分かった。また、フィードチューブからの空気の吸入が強くなっていった点も確認できた。

(2) サーモグラフィーによる観測結果

時間経過による変化の面では、A タイプは、ヒートライザー全体が後半になるとかなりの高温となっていた。タイプ B, C, D は時間が経過してからも、表面の温度に変化は見られなかった（図 3）。

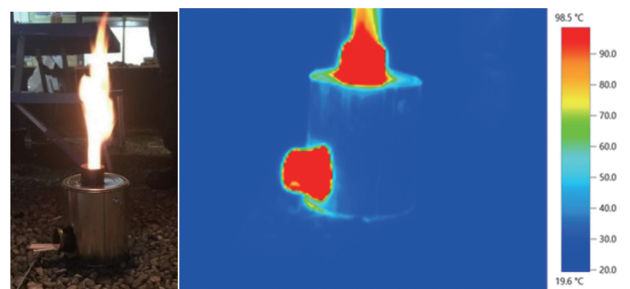


図 3. 予備実験写真・熱画像

3.3 暖房実験結果

ここでは、茅葺き古民家の土間部分（民家中央付近）に200Lのドラム缶を用いた大型のロケットストーブ(図2)を制作し、暖房実験を行った。暖房実験では、①PMV値を用いて暖房効果の検証、②時間帯の変化による室内温度の変異、③ロケットストーブからの距離による温度変化の3項目の調査を行った。

実験方法は、ロケットストーブを24時間連続で稼働させ、ロケットストーブ使用時と未使用時の室内温度、PMV値の比較を行った。室外の温度は民家の軒下で(図4の⑦)、室内温度は、ロケットストーブからの距離による温度変化の測定を行った(図4, 図5の①~⑥)。さらに、暖房ベンチの内部に利用する連結した一斗缶の表面温度も計測した(図6の㉗~㉜)。

測定に用いる機器は、ポータブルPMV計体感温熱環境測定機と温度・湿度データロガーを用いた。PMV測定器は、ロケットストーブから距離50cm高さ70cmの位置に設置した。温度・湿度データロガーは、ロケットストーブの暖房器具部分から距離0m, 0.5m, 1.0m, 2.0mの4点、高さ70cmの位置に設置した。また、距離100cm, 200cmの2点には、高さ170cmの位置にも設置した(図4)。



図5. 暖房実験風景

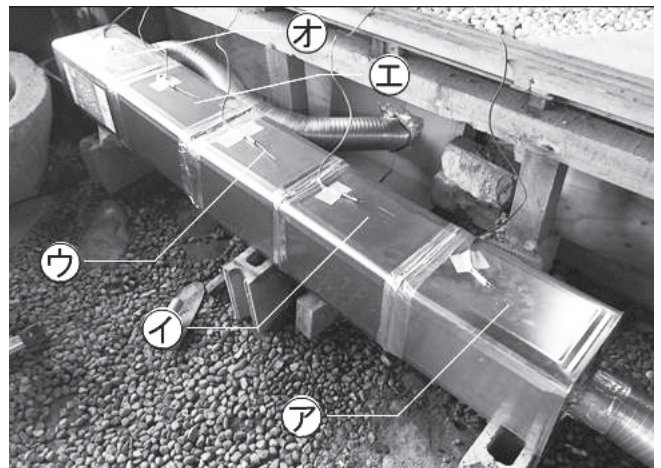


図6. 暖房ベンチ内部の一斗缶とT型熱電対

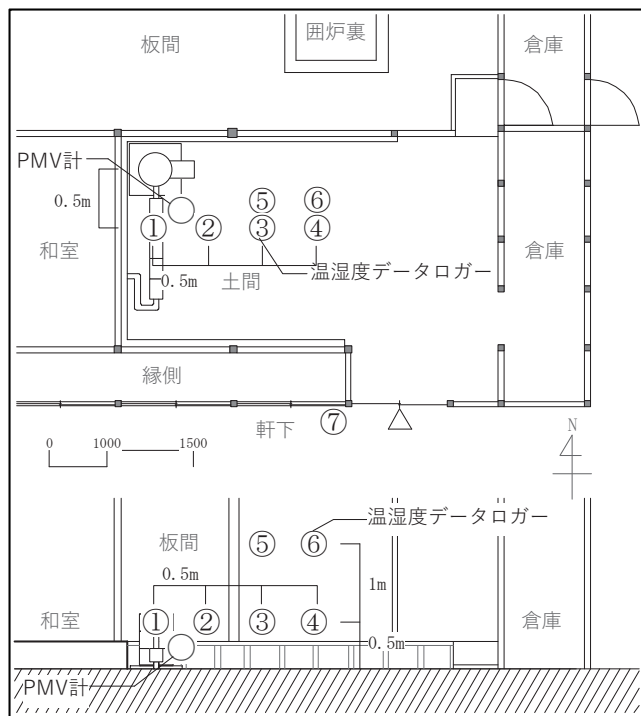


図4. 室内外の温湿度測定点

(1)PMV 値

PMV 値では、999.9 (-3.0 以下) を示しており、良好な数値の観測はできなかった。しかし、室外の気温を計測した温度・湿度データロガー⑦と比較すると、平均で約4.3℃の差が確認された。また、平均輻射温度は外気温よりも約6.0℃高く、室温自体の上昇には良好な数値は得られなかったが、平均輻射温度では一定の暖房面での結果を得られた。

(2)室内外の温度変化

室内に温度・湿度データロガーを6ヶ所、室外に1ヶ所設置し、24時間の間、5分間隔で計測を行った。その結果を図7に示す。外気温との差の平均値は、①7.0℃、②6.3℃、③5.7℃、④3.3℃、⑤5.4℃、⑥4.8℃という結果になった。また、室内は約5.4℃程度の温度上昇がみられ、昼間では10℃以上の温度上昇も確認できた。

ストーブからの距離別温度の測定結果(図8)では、ス

トープからの距離が近いほど暖かく、具体的には、1mの距離で平均約6.1℃の温度上昇が見られた。また、ロケットストーブの使用を開始して2時間経過頃から安定し、室外よりも5℃以上高い状態を保っていた。なお、最も距離の近い①の外気との温度差では、最大14.7℃の差が確認された。

(3) 暖房ベンチ内部の一斗缶の表面温度

5つの一斗缶を連結した一斗缶の表面にT型熱電対を設置して計測を行った結果を図9に示す。ストーブに最も近い⑦の平均温度は約24.5℃(最大値約36℃)という温度は十分に暖房家具に転用できる水準に達していると思われる。他4ヶ所は最大値で20℃以上になったものの、暖房といえるほどの温度にはならず、さらに、ベンチ全体を均一に暖房できないという課題が残された。また、薪の燃焼で温められた空気がベンチ内部を通る過程で、室内の冷気の接触により結露が発生し、一斗缶内部に水が溜まってしまった。この結露水の除去方法、もしくは結露しない仕組みを考える必要がある。

なお、長時間ロケットストーブを使用した結果、190分付近の温度が下降してしまった。これは、薪の必要以上に投入し、バートンネル内への空気の吸入量が減り、暖房器具全体の温度が低下してしまったと思われる。実際、少の煙の逆流が発生し、室内に煙が流入してしまう事態が発生してしまい、薪の投入量を誤らないようなフィードチューブの構造を検討する必要があると思われる。

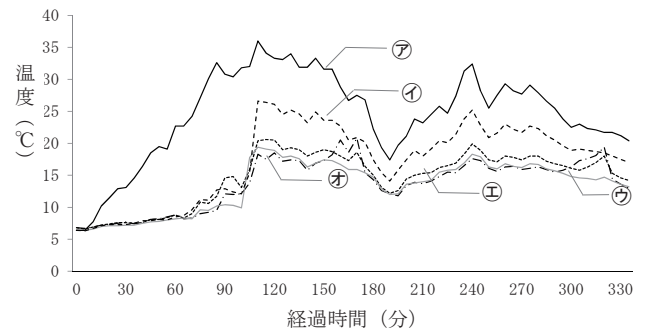


図9. ベンチ内部の一斗缶表面温度変化

4. ロケットストーブの制作図面

暖房実験のために制作したロケットストーブは、文献1のロケットストーブの図面を基本にしなが、各部の寸法、材料の性能などを設定し、予備実験で得た知見をもとに全体の構造面での組み合わせと寸法比率の検証を行い、それらの結果を考慮しながら、わが国で容易に調達できる既製品部材を用いたものである。その図面を図10に示す。

このロケットストーブには断熱材を入れてないが、制作のしやすさを考え、ヒートライザー部分には既製品のU字溝を使用することで対応し、フィードチューブも灰の掻き出しやすさなどのメンテナンス性を考慮し、バ

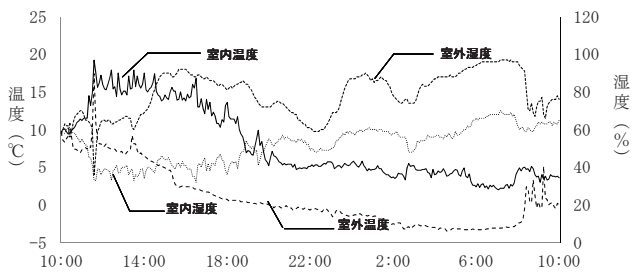


図7. 室内外温湿度変化

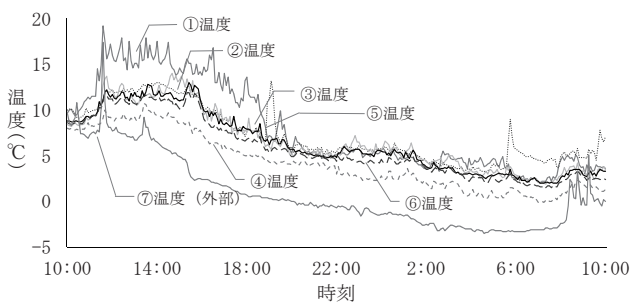


図8. ロケットストーブ使用時の室内温度変化

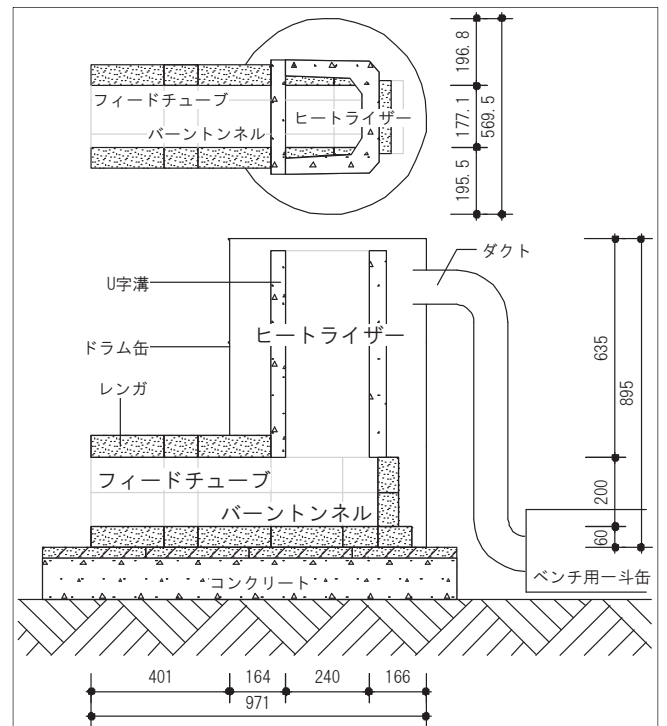


図10. 暖房用ロケットストーブ断面図

ーントンネルと一体の構造とした。それにより、より簡易に制作できる構造となり、今後、一般市民がセルフビルドでロケットストーブを制作する時の有用な資料になると考えられる。しかし、このロケットストーブの暖房性能については改良の余地が残されている。

5. まとめ

ロケットストーブは開発からの歴史がまだ浅いが、今後の研究での基礎研究として、本研究で得られた知見と課題を以下にまとめる。

予備実験を通して、①断熱材の厚みに差を持たせることによって、チューブ内で対流が生まれる。②ヒートライザーの断面積は、バーントンネルと同じかそれよりも大きい面積にする。③一般的に普及している薪ストーブでは使用できない木材まで燃料の範囲が広がり、活用範囲が広がる。④断熱性と空気の吸入量、適正な寸法比率のどれか1つでも不十分な場合、完全燃焼にはならないことが判明した。これらの制作における留意点は、ロケットストーブの開発の際に必須となる情報がわかり、今後の研究でも基礎情報となると考えられる。なお暖房実験では、使用した民家の気密性が極めて低く、快適な室内環境はつくりだせなかったが、暖房器具部分の伝熱状態も確認でき、平均温度などの面では暖房効果を確認できた。さらに、我が国の既製品を用いて制作するための図面が、今後のロケットストーブの研究に有用な資料となることを期待したい。

今後の課題として以下のものが挙げられる。一つ目に、薪の燃焼で温められた空気と室内の冷気の接触により結露が発生する点である。これは暖房器具部分の故障に直結する問題となる。そのため、暖房家具を制作する際は、溜まった結露の除去の方法を発見する必要がある。二つ目に、全体を均一に暖房することができない問題だが、これはロケットストーブからの排気が滞っていることから均一な暖房ができていないので、室外への排気の面の調査が必要である。

謝辞

本実験に当たり、当時近畿大学工学部建築学科4年生であった坂元将悟君と森祐貴君の多大な協力を得た。ここに感謝の意を表します。

参考文献

(1) イ・ジェグァン,チェ・ジンソク, 絵で見る 火とかまどとストーブのはなし, 日本ロケットストーブ普及協会 (2017-11)

- (2) 菅井大作, 高橋寛行, DIY で火の暮らしを楽しむ, 株式会社地球丸 (2017-11)
- (3) 一般社団法人 農山漁村文化協会, 最高!薪&ロケットストーブ, 一般社団法人 農山漁村文化協会 (2014-10)
- (4) Ianto Evans, Leslie Jackson, ROCKET STOVES TO HEAT COB BUILDINGS, 日本ロケットストーブ普及協会, (2009-12)