埋設深 2m のアースチューブに関する冷却及び加熱効果

高岡市のコミュニティ施設における通年実測調査

COOLING AND HEATING EFFECTS OF EARTH-TUBE LAID UNDERGROUND DEPTH OF 2 METERS

Investigation through one year at a community center in Takaoka City

垂水弘夫 — * 1 神保歩未 — * 2
飯田太郎 — * 3 横山天心 — * 4

Hiroo TARUMI — * 1 Ayumi JIMBO — * 2
Taro IIDA — * 3 Tenshin YOKOYAMA — * 4

キーワード：
アースチューブ, 地中熱利用, 冷却効果, 加熱効果

Keywords:
Earth-tube, Subterranean heat use, Cooling effect, Heating effect

Earth-tube system is one of the methods of subterranean heat use, and is applied as a ventilator of a detached residence or small-scale buildings. And the reduction of fresh air loads is expected. In this study, we investigated the earth-tube system installed at Kiduno-syou Community Center in Takaoka City. A vinyl chloride tube of 200 mm in diameter was laid underground by 125 m of the total extension. The burial depth of a tube is about 2.0 m. Based on the data of temperature and relative humidity of diffused air through one year, the cooling and heating effects were analyzed.

1. はじめに

アースチューブシステムは、地中に埋設した配管内に外気を送り込み、換気空気を屋内に吹き出すことで、外気負荷の削減が期待される換気システムである。建築物の ZEB (Net Zero Energy Building) 化を目指す場合などに、要素技術の一つとして検討対象に取り上げられるケースがある。

本調査研究では、富山県高岡市のコミュニティ施設に設置されたアースチューブを対象に、ほぼ 1 年間に渡って吹出し空気の温度及び相対湿度を実測したので、外気との比較検討を行うとともに、夏期の冷却効果及び冬期の加熱効果を推定した結果について報告する。チューブの埋設深は約 2m である。一般に山留め工事の必要がない深さであり、設置費用の点から今後利用される機会が多い埋設深さと思われる。ただし、この深さの地中温度は、富山の別のアースチューブを対象とした既往研究¹⁾において、年平均は約 15℃ であるが、9 月末に約 19℃ のピーク、3 月末に約 11℃ のボトムを形成する振幅約 4℃ の年周期で変化することが示されている。

住宅等の小規模建築向けのアースチューブについては、近年比較的多くの研究成果が発表^{2)~27)}されており、そのうち過去 10 年以内程度で建物の竣工・運用開始後に、夏冬を含む通年の効果分析を行った論文としては、尹・田中らによる愛知の例^{14), 17)}、本山・糸長らによる神奈川の例¹⁶⁾、中川らによる東京の例^{18), 19)}、佐藤・松本・長谷川らによる秋田の例^{20), 23)} などがある。アースチューブの規模や埋設状態、風量設定等にそれぞれ相違があり、単純な比較は難しいが、こうした事例調査を積み上げて行くことで、地域の気候条件に応じたアースチューブの計画方法や設計仕様が徐々に明確になって行くものと思われる。

2. 実測調査の概要

2.1 対象建物とアースチューブシステムについて

富山県高岡市に立地するコミュニティ施設を対象に 2013 年 5 月～2014 年 4 月の 1 年間、実測調査を行った。建物の設計者は筆者の 1 人の横山である。建物とアースチューブの概要を表 1 に、また、アースチューブの埋設作業風景及び屋内吹出し口における風量測定の様子を写真 1 に、さらにアースチューブの配管図と建物平面図を図 1 に示す。建物の延べ床面積は 237 m² で、気積は 790 m³、図面及び建物仕様を元に算定した熱損失係数は 3.79 W/(m²・K) である。建物は南東面が駐車場用地、北西面が公園緑地に面しており、アースチューブはその公園緑地の下に埋設されている。アースチューブは、直径 200mm で長さ 15m の枝管 7 本を、直径 300mm で長さ約 10m のヘッダー 2 本に接続した。図 1 に示されるくし状の配管配置となっており、各枝管の配列間隔は 1500mm である。これらの総配管長は約 125m で、硬質塩化ビニール管 (VU 管) を使用した。建物内に設置した押込みファンは、三菱電機㈱製の BFS-100SSU である。

2.2 アースチューブの運用と測定について

アースチューブは、実測期間を通じて季節・昼夜を問わず連続運転を実施した。アースチューブからの吹出し風量を、コーナー札幌

表 1 調査対象建物及びアースチューブの概要

建物概要		チューブ概要	
		枝管	ヘッダー
所在地	富山県高岡市	呼び径	φ200 φ300
敷地面積	430m ²	長さ	15000mm 10150mm
延床面積	237m ²	本数	7本 2本
気積	790m ³	配列間隔	1500mm
構造	木造2階建て	配管長	約125m
竣工年月	2013年5月	材質	硬質塩化ビニール
熱損失係数	3.79	測定風量	約260m ³ /h(強モード)

¹⁾ 金沢工業大学建築系 教授・工博
(〒924-0838 石川県白山市八束穂 3-1)

²⁾ 金沢工業大学大学院建築学専攻 大学院生

³⁾ 清水建設㈱ 修士 (工学) (当時 金沢工業大学大学院建築学専攻大学院生)

⁴⁾ 富山大学芸術文化学部 准教授・博士 (工学)

¹⁾ Prof., Dept. of Architecture, Kanazawa Institute of Technology, Dr. Eng.

²⁾ Graduate Student, Dept. of Architecture, Kanazawa Institute of Technology

³⁾ Shimizu Corporation, M. Eng.

⁴⁾ Assoc. Prof., Dept. of Art and Design, Univ. of Toyama, Dr. Eng.

梯製の風量測定器 KNS-300 を用いて測定したところ、約 260 m³/h であった。建物としては、0.33 回/h の換気回数がアースチューブにより常時確保されている状態であった。チューブ枝管内の平均風速は約 0.33m/s である。吹出し口及び外気の温湿度測定には、メモリ機能付き温湿度計（梯ティアンドデイ製、TR-72U）を使用した。

3. アースチューブによる外気の冷却・加熱状態の確認

3.1 アースチューブ吹出し口温度・相対湿度の年変化

外気（チューブ吸込み口）の温湿度と吹出し口の温湿度の関係を把握するために、図2を作成した。2013年5月から2014年4月までの日平均値の年変化を表わしている。表2には、これらの月別値を、算定に用いた有効日数とともに整理した。

アースチューブ吹出し口温度についてみると、8月にピークを迎え、2月にボトムを形成する年周期となっていることが分かる。表2から、吹出し口温度は最も高い8月で25.1℃、これに次ぐ9月が23.2℃、7月で22.9℃などとなっている。一方、冬期の吹出し口温度が最も低いのは2月の6.9℃で、これに1月及び3月の8.2℃などが続く状況にある。また、外気温度（図中の黒太線表示）と比べて夏期は低く、冬期は高くなっている日が多い様子がみて取れる。

北陸の外気の相対湿度は、春にやや低下するものの、夏冬を通じて高い状態が続くことが理科年表にも示されており、図2の相対湿度データも同様の変化を呈している。アースチューブ吹出し口の相対湿度をみると、6月から8月にかけて高く、11月から翌年3月にかけて比較的低い状態となっている。月別値でみて、6月が84.8%RH、7月が84.7%RHであるときに、1月は53.3%RH、2月は56.1%RHなどの値を示す。外気とアースチューブ吹出し口における相対湿度の差は、夏期はチューブ内で通過空気が冷却される一方、冬期は地中熱の取得による結果と考えられる。

3.2 アースチューブ吹出し口温度・相対湿度の日変化

アースチューブからの吹出し空気の特徴を把握する一環として、

表2 吹出し空気の月平均温度及び相対湿度

		2013年										2014年				平均 合計
		5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月			
温度(℃)	吹出し口	15.9	19.2	22.9	25.1	23.2	20.3	14.8	10.6	8.2	6.9	8.2	11.5	15.6		
	外気	18.4	21.9	26.6	27.8	22.6	18.4	10.1	4.9	2.8	3.0	6.5	11.2	14.5		
相対湿度 (%RH)	吹出し口	79.1	84.8	84.7	79.7	68.5	70.6	56.8	56.2	53.3	56.1	65.4	64.4	68.3		
	外気	74.3	80.1	74.6	73.0	78.2	80.0	78.0	84.1	77.6	74.7	72.9	67.7	76.3		
有効日数(日)		16	30	31	31	30	31	30	31	31	28	31	29	349

(1) 対象建物 南東面

(2) 対象建物 北西面

(3) アースチューブ埋設

(4) 屋内吹出し風量測定

写真1 アースチューブ・建物概要

図1 アースチューブ配管図・断面図建物平面図

図2 屋内吹出し温度・外気温度の月別平均値年変化

図3 吹出し空気及び外気の温度・相対湿度の日変化

外気を含む温度及び相対湿度の日変化のグラフを作成した。図3の(1)は吹出し空気、(2)は外気に関する月別時刻変化を表わしている。外気温度は、月に因らず昼は高く夜から明け方に掛けて低くなる時刻変化をするため、外気の相対湿度は逆に明け方が最も高く、日中に低くなる時刻変化となっている。アースチューブを通過した吹出し空気の温度は、時刻変化が小さくなり、昼夜の温度差は1～2℃以内程度に縮小している。また、プロットされる温度データの上下の幅についても、外気では2～32℃の約30℃差の範囲にあったものが、アースチューブ吹出し空気では7～26℃のおよそ19℃差の範囲へと、3分の2程度の温度幅の中に収まったものである。吹出し空気の相対湿度についても、温度の時刻変化の縮小を受けて、外気のような大きな時刻変化は見られなくなっている。

3.3 外気温度とアースチューブ吹出し口温度との関係

外気温度とアースチューブ吹出し口温度との関係について、季節による特徴を把握するために図4の散布図を作成した。外気温度をX軸に取り日平均値をプロットしたところ、単回帰では次式による関係が認められた。

$$y = 0.65x + 6.20 \quad (^\circ\text{C})$$

この場合の相関係数は0.95と高いものであるが、データに季節ごとのマークを施した結果を、外気温度が15℃前後の春(4, 5月)と秋(10, 11月)についてみると、回帰直線の上下に分かれる様子が明瞭である。論文冒頭にも示したように、深さ2m程度の地中温度は、春よりも夏を過ぎた秋の方が高いことから、アースチューブ吹出し口温度も秋の方が高くなって、このように反時計回りの長楕円形の推移を示すものである。

また、この図からアースチューブ吹出し口温度は、夏期外気温度が30℃の時で25～26℃前後、冬期の外気温度が0℃の時で6～7℃前後となる日が多い傾向にあることが読み取れる。

4. アースチューブによる除去・取得熱量の推定

4.1 吹出し口における外気との温度差及び絶対湿度差の検討

アースチューブによる換気空気の除去・取得熱量算定の基礎とな

図4 外気温度とアースチューブ吹出し温度との関係

るのが、外気と屋内吹出し口との温度差及び絶対湿度差である。外気を基準として吹出し空気の高低温を月ごとに求め、図5及び図6を作成した。それぞれプラス側、マイナス側となった時間数とその平均値を表わしている。

吹出し空気温度と外気温度との差が夏期に最も大きくなったのは、7月の-3.9℃であり、これに次いで8月が-3.5℃などとなっている。冬期に差が最も大きくなったのは、1月の+6.0℃である。冬期は12月も+5.8℃、11月で+5.2℃、さらに2月で+4.8℃などと、夏期に比べて温度差の大きい月が多く、顕熱に関しては、夏期の除去熱量よりも冬期の取得熱量の方が大きくなるものと考察された。

次に図6の絶対湿度差についてみると、7月の-1.7g/kg(DA)が最も大きく、この外の月でも5月から9月に掛けては-1.2～-1.4

図5 (吹出し口温度 - 外気温度) の月別データの年変化グラフ

図6 (吹出し口絶対湿度 - 外気絶対湿度) の月別データの年変化グラフ

g/kg(DA)の範囲の数値となっている。アースチューブ内の結露発生によって潜熱除去が期待されるのは、主にこの期間となる。

冬期等にも-0.2 g/kg(DA)程度の潜熱除去がみられるとともに、+0.2~0.3 程度の潜熱取得の状況が示されている。これらは月間の毎時刻に僅かな±の値が出現しているものであり、アースチューブの吸込みと吹出し口に設置した2つの温湿度計の精度や応答性の差などによるものと考えられる。

4.2 除去・取得熱量の解析

以上に示した取得データを基に、2013年5月から2014年4月の実測期間について、アースチューブによる毎日の除去及び取得熱量を算定し、図7を作成した。図では上側に熱取得、下側に熱除去を配し、濃色は顕熱分、淡色は潜熱分を表わしている。潜熱量の算定については、注釈に詳細^{注1}を示した。

年間を通じてみると、5~9月は除去熱が主となり、10月中旬から3月中旬に掛けては取得熱が主となっている。2014年3月末に除去熱の値が大きい日があるのは、フェーン現象によって外気温度が上昇した影響である。5月から9月の除去熱について、顕熱分と潜熱

分の内訳をみると、潜熱分が顕熱分を上回っている様子が確認できる。これは、アースチューブ内に地中温度よりも高温・多湿の外気を導入した結果生じた結露水を、窯場に集水・自動排水している効果と位置付けられる。また、この期間に結露水の再蒸発の可能性のある潜熱取得が生じている日もあるが、熱量としてはごく僅かに留まっている。日量としての最大値についてみると、冬期は約75MJ/日、夏期は約85 MJ/日となっている。

図8は、アースチューブによる除去・取得熱量を月間値として表わしたものである。測定日数が月の日数に満たなかった5月と4月については、表2に示した有効日数の日平均値に、月の日数を乗じて求めている。図では、プラス側(取得熱)及びマイナス側(除去熱)ともに、ゼロの基準線から先ず顕熱分を表示し、その外側に潜熱分を示している。図中の数値もその順に表示している。

これより、除去熱がピークの7月は、顕熱分-866MJ/月と潜熱分-906 MJ/月を合わせ、-1772 MJ/月の除去熱量となっている。これに次ぐのが6月の-1432 MJ/月(顕熱分-623 MJ/月、潜熱分-809 MJ/月)であり、さらに8月の-1416 MJ/月(顕熱分-676 MJ/月、潜熱分

図7 アースチューブによる除去・取得熱量

-740 MJ/月)が続く。

取得熱がピークとなる 12 月は、+1367 MJ/月(顕熱分+1326 MJ/月、潜熱分+41 MJ/月)の取得熱量となっている。1 月もほぼ同レベルの+1358 MJ/月(顕熱分+1290 MJ/月、潜熱分+68 MJ/月)であり、これに 11 月の+1136 MJ/月(顕熱分+1071 MJ/月、潜熱分+65 MJ/月)、2 月の+940 MJ/月(顕熱分+887 MJ/月、潜熱分+53 MJ/月)と続いている。

以上、アースチューブの熱的効果を月間の除去・取得熱量でみると、夏期の除去熱量が冬期の取得熱量を上回っており、その半分以上が潜熱除去によって占められていること、冬期の取得熱量のほとんどは顕熱分であり、顕熱分のみを夏冬と比較すると、冬期の月の顕熱取得熱量は夏期の月の顕熱除去熱量を超えていること、などが明らかとなった。

5. まとめ

本論文は、富山県高岡市のコミュニティ施設に設置したアースチューブを対象として、外気及び吹出し空気に関するほぼ 1 年間の実測調査を行い、夏期の除去熱量・冬期の取得熱量を推定して、埋設深さ 2m で総配管長が約 125m のアースチューブを北陸地域で適用した場合に得られる、冷却及び加熱効果を検討したものである。

研究成果を以下にまとめる。

- 1) アースチューブからの吹出し温度は、外気に比べて、月平均値で夏期に 3~4℃程度低く、冬期に 5~6℃程度高くなることが示された。ピークとなる月は夏期で 7 月、冬期は 1 月であった。また、5 月~9 月の間の吹出し空気の絶対湿度低下は、-1.2~-1.7g/kg (DA) であることが確認された。
- 2) アースチューブによる冬期の取得熱量は、12 月、1 月ともに 1360MJ/月前後で、そのほとんどを顕熱分が占めた。一方、夏期の除去熱量は 7 月に-1772 MJ/月となるなど冬期と比較して値が大きく、内訳としても潜熱除去が顕熱除去を上回るという特徴があることを明らかにした。

今後は、アースチューブにおける換気風量の変更や時間帯設定などが地中熱の利用に及ぼす影響について、検討して行くことが考えられる。

謝辞

本研究における研究費の一部は、平成 25~27 年度・文部科学省・私立大学戦略的研究基盤形成支援事業補助金によるものである。ここに記して謝意を表する。

注

注 1) 潜熱の取得・除去熱量算定は次式によった²⁸⁾。

$$h = h_a + x \cdot h_v \quad \cdots(1)$$

$$h_a = 1.006 \cdot t \quad \cdots(2)$$

$$h_v = 2501 + 1.805 \cdot t \quad \cdots(3)$$

$$x = 0.622 \cdot p_v / (P - p_v) \quad \cdots(4)$$

$$p_v = \phi \cdot p_s / 100 \quad \cdots(5)$$

$$p_s = 0.1333 \exp((18.808t + 361.52) / (t + 237.54)) \quad \cdots(6)$$

ここに、

h : 比エンタルピー[kJ/kg(DA)]

h_a : 乾き空気の比エンタルピー[kJ/kg(DA)]

x : 絶対湿度[kg/kg(DA)]

図 8 アースチューブによる月間除去・取得熱量

h_v : 水蒸気の比エンタルピー[kJ/kg]

t : 温度[℃]

p_v : 水蒸気分圧[kPa]

P : 標準大気圧 101.325[kPa]

ϕ : 相対湿度[%]

p_s : 飽和水蒸気圧[kPa]

以上の算定式に基づく結果に、実測した換気風量(260 m³/h)を乗じている。

参考文献

- 1) 垂水弘夫, 簗原由紀: ヒート&クールチューブ住宅の地中熱利用効果に関する調査研究, 北陸に立地する戸建モデル住宅を対象として, 日本建築学会環境系論文集, 第 75 巻, 第 651 号, pp. 423-429, 2010. 3
- 2) 長谷川房雄, 木村建一, 吉野博, 石川善美: パッシブソーラーシステム試験家屋に設置したクールチューブの冷却性能に関する研究, その 1 床下に設置した 3 本のクールチューブの場合, 太陽エネルギー, 第 14 巻 4 号, pp. 23-30, 1988. 7
- 3) 吉野博, 石川善美, 松本真一: 地中冷熱, 日本建築学会環境工学委員会熱小委員会, 第 18 回熱シンポジウム資料, pp. 55-62, 1988
- 4) 吉野博, 石川善美: クールチューブ, 一パッシブクーリングとしての地中熱利用一, 太陽エネルギー, 第 15 巻 4 号, pp. 28-35, 1989. 7
- 5) 長谷川房雄, 吉野博, 石川善美, 曾良敏正: パッシブソーラーシステム試験家屋に設置したクールチューブの冷却性能に関する研究, その 2 建物周囲に埋設した 45m のクールチューブを利用した場合の室内温度, 太陽エネルギー, 第 17 巻 4 号, pp. 29-36, 1991. 7
- 6) 佐々木陸史, 石川善美, 吉野博: 仙台市に建設された自然エネルギー利用住宅における室内熱環境とクールチューブの熱的性能に関する長期実測結果, 日本建築学会東北支部研究報告集, pp. 145-148, 1995. 6
- 7) 石原修, 張晴原: クールチューブの冷却効果に関する実大住宅実験およびシミュレーション解析, クールチューブによる室内熱環境の改善に関する研究 第 1 報, 日本建築学会計画系論文報告集, 第 429 号, pp. 7-16, 1991. 11
- 8) 張晴原, 石原修: クールチューブの設計出口温度と冷却エネルギー量の検討, クールチューブによる室内熱環境に関する研究 第 2 報, 日本建築学会計画系論文集, 第 477 号, pp. 11-18, 1995. 11
- 9) 鉾井修一, 上田真也, 吉田亨: クールチューブの冷却効果に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 環境工学 II, pp. 495-496, 1995. 8
- 10) 上田真也, 鉾井修一, 吉田亨: クールチューブの冷却効果に関する研究, 管内表面が湿っている場合, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 環境工学 II, pp. 505-506, 1996. 8
- 11) 上田真也, 鉾井修一: クールチューブの冷却効果に関する研究, 地盤内の熱水分同時移動を考慮した場合, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 環境工学 II, pp. 411-412, 1997. 9
- 12) 桜井美政, 安積弘高: 持続可能なライフスタイルを目指した実験住宅における温熱環境, 日本建築学会計画系論文集, 第 542 号, pp. 41-47, 2001. 4
- 13) 安積弘高, 桜井美政: 住宅における自然換気駆動型クールチューブの熱性状解析, 日本建築学会計画系論文集, 第 547 号, pp. 33-39, 2001. 9

14) 尹奎英, 田中英紀, 奥宮正哉: 近接埋設されたクール/ヒートチューブの熱交換特性, 近接埋設される複数管型クール/ヒートチューブに関する研究 その1, 日本建築学会環境系論文集, 第579号, pp. 45-52, 2004. 5

15) 岡本茂, 弓崎幸治, 佐藤一輝: ダブルスキン・自然通風, クール/ヒートチューブを導入したS市民センターにおける室内環境実測と省エネルギー効果の実証, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, pp. 461-464, 2005. 8

16) 本山千絵子, 糸長浩司, 栗原伸治, 橋本哲, 相根政幸, 廣瀬卓也: 環境共生型建築における温熱環境特性と空調消費電力量評価, 日大CNESの環境建築に関する研究 その5, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 1051-1052, 2005. 9

17) 尹奎英, 田中英紀, 奥宮正哉: 複数クール/ヒートチューブの配置とその性能に関する研究, その4 性能予測式を用いたクール/ヒートチューブの設計手順, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 1277-1278, 2005. 9

18) 中川浩, 高田暁, 佐藤寛: 戸建住宅における地中熱を活かした換気熱損失低減に関する研究, 複数住戸の連結したヒート&クールチューブの提案, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 293-294, 2009. 8

19) 中川浩, 高田暁, 佐藤寛, 竹内ゆう: 戸建住宅における地中熱を活かした換気熱損失低減に関する研究 その2, 複数住戸の連結したヒート&クールチューブの実測結果, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 93-94, 2010. 9

20) 佐藤大, 松本真一, 長谷川兼一: アースチューブシステムの省エネルギー効果に関する基礎的研究, その1 実モデル住宅の概要及び冷房用エネルギー削減効果の実験, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 87-88, 2010. 9

21) 守屋寛之, 水出喜太郎, 副島正成, 鹿子島修: 環境調和図書館の熱環境性

能評価に関する研究, その2 クールヒートチューブの性能評価と閲覧室温熱環境の評価, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, pp. 1411-1414, 2010. 9

22) 鄭明傑, 潘嵩, 吉田治典: アースチューブ併用自然換気システムの性能検証, 第1報 自然換気解析とCFDの連成解析法の開発と再現性検証, 空気調和・衛生工学会論文集, pp. 21-29, 2010. 1

23) 佐藤大, 松本真一, 長谷川兼一, 細淵勇人: アースチューブシステムの省エネルギー効果に関する基礎的研究, その2 冷暖房用エネルギーの削減効果に関する実験結果, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 227-228, 2011. 8

24) 一木翔, 田中英紀: 住宅基礎を用いたクール/ヒートチューブ換気システムの性能に関する研究, その1 秋期の運用方法に関する実性能の比較評価, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 589-590, 2012. 9

25) 遠藤洗介, 福田展淳: 冷暖房を行う基礎内設置型アースチューブを用いた環境配慮型木造壁式工法の開発, 日本建築学会九州支部研究報告第53号, pp. 205-208, 2014. 3

26) 長尾拓, 西川豊宏, 小林史生: 自然エネルギーを利用した全館換気空調システムに関する研究(その1), 実建物におけるシステムの外気負荷削減に関する実測, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 633-634, 2014. 9

27) 川瀬仁実, 三田村輝章, 関口正男, 原澤浩毅: 地中熱利用と太陽光発電を併用した全館空調住宅のゼロエネルギー化に関する研究, その1 調査対象住宅の概要と初年度における実測結果, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 1189-1190, 2014. 9

28) 井上宇市編: 空気調和ハンドブック改訂5版, 丸善株式会社, 2008. 2

[2015年10月5日原稿受理 2016年2月24日採用決定]