

平成 30 年 5 月 3 日現在

機関番号：13903

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2016～2017

課題番号：16K18183

研究課題名(和文) 製鋼スラグを用いた融雪用発熱モルタルブロックの発熱効率向上

研究課題名(英文) Improvement of heat generation efficiency of heating mortar blocks for snow melting using steelmaking slag

研究代表者

伊藤 洋介 (Ito, Yosuke)

名古屋工業大学・工学(系)研究科(研究院)・助教

研究者番号：00757338

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：産業副産物である製鋼スラグを用いて電波のエネルギーを熱エネルギーに変換して融雪する「融雪用発熱モルタルブロック」につき、以下を明らかにした。

1) 製鋼スラグの焼成による電波吸収特性の変化傾向を明らかにした。2) 製鋼スラグの粒径が電波吸収特性に及ぼす影響を明らかにした。3) 電波発振器から融雪用発熱モルタルブロックに電波を伝送するための電波漏洩導波管につき、スリット厚さ、長さが電波漏洩量に及ぼす影響を明らかにした。1)、2)より、融雪用発熱モルタルブロックに活用できる製鋼スラグの種類を増やすことができ、3)より、漏洩導波管上に設置される融雪用発熱モルタルブロックを均一に加熱できるようになった。

研究成果の概要(英文)：The following was clarified concerning "heating mortar block for snow melting" that converts the energy of electromagnetic waves into thermal energy and melts by using steelmaking slag, which is an industrial byproduct.

1) The effect of sintering of steelmaking slag on electromagnetic wave absorption characteristics was clarified. 2) The influence of change in grain size of steelmaking slag on electromagnetic wave absorption characteristics was clarified. 3) The influence of the slit thickness and length on the electromagnetic wave leakage was clarified for the electromagnetic wave leaky waveguide for transmitting electromagnetic waves from the electromagnetic wave oscillator to the heating mortar block for snow melting.

1), 2), it is possible to increase the types of steelmaking slag that can be utilized for the heat-generating mortar block for snow melting. 3), it has become possible to uniformly heat the heating mortar block for snow melting installed on the leaky waveguide.

研究分野：建築材料

キーワード：電気炉酸化スラグ モルタル 電波吸収 マイクロ波加熱 融雪 漏洩導波管 焼成 粒径

1. 研究開始当初の背景

除雪作業は多大な労力や費用を要し、降雪地域に住む人々が抱える大きな問題の一つになっている。特に高齢者に大変な労力負担となるため、高齢社会になった日本においては、通路の除雪を行うことが困難な住宅も多いと予想される。

このような状況でありながら、除雪車により除雪されるのは一般道路のみであり、各住戸の玄関から道路までの通路は除雪されず (Fig.1) やむをえず人手により除雪を行っているのが現状である。融雪剤の使用で労力を軽減することも可能だが、建造物に用いられる鉄が融雪剤に含まれる塩化合物と反応し、錆が発生するなど環境への負荷は大きい。また、電熱線による融雪は漏電による危険や過酷な気象条件下における耐久性および電力料金の問題の他、施工やメンテナンスが困難であるなどの問題を抱えている。

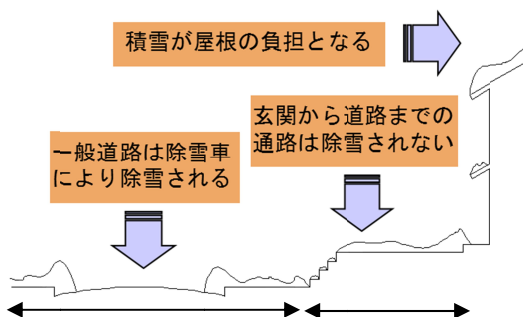


Fig.1 降雪地域の問題

2. 研究の目的

名古屋工業大学の建築材料系研究室では従来から、準マイクロ波帯におけるセメントモルタルの電波吸収体の研究¹⁻⁵⁾が行われている。フェライト混入セメントモルタルの電波吸収特性¹⁾やカーボン混入セメントモルタルの電波吸収特性²⁾そしてフェライト及びカーボン混入セメントモルタルの電波吸収特性³⁾に関する研究がなされ、電波吸収材料の吸収効果と測定方法について検討されている。また、平行二線線路による準マイクロ波帯電波吸収特性の測定方法⁴⁾が開発され、電波吸収体の実用化の応用例としてプラスチック廃棄物と古紙による準マイクロ波帯電波吸収リサイクルボードの開発⁵⁾がされている。

申請者は電波吸収体が電波を吸収する際に発熱する特性に着目し、これら研究を参考に、リサイクル材料の製鋼スラグが電波吸収特性を有することを活かして、2.45GHzの準マイクロ波帯電波吸収体を用いた融雪用発熱モルタルブロックシステム (Fig.2)の研究⁶⁾⁷⁾⁸⁾⁹⁾を行う。本研究では融雪用発熱モルタルブロックシステム構築において重要な融雪用発熱モルタルブロック (Fig.3) に関し、以下の3つを明らかにする。

(1) 製鋼スラグの焼成による電波吸収特性の変化傾向を明らかにする。

(2) 製鋼スラグの粒径が電波吸収特性に及ぼす影響を明らかにする。

(3) 電波発振器から融雪用発熱モルタルブロックに電波を伝送するための電波漏洩導波管につき、スリット厚さ、長さが電波漏洩量に及ぼす影響を明らかにする。

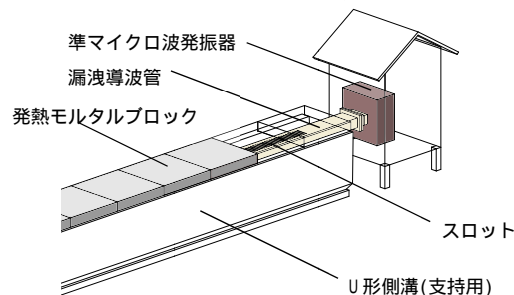


Fig.2 融雪用発熱モルタルブロックシステム

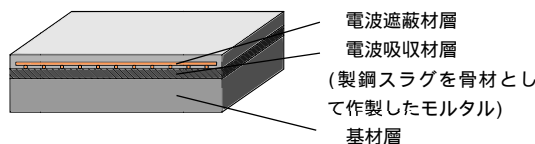


Fig.3 融雪用発熱モルタルブロック

3. 研究の方法

(1) 製鋼スラグの焼成と粒径が電波吸収特性に及ぼす影響について

焼成した製鋼スラグ、または粒度の異なる製鋼スラグを骨材として作製したモルタル (以下、スラグモルタルという) の反射減衰量 RL を S パラメータ測定およびニコルソン・ロス法で求めた複素比誘電率 ϵ' と複素比透磁率 μ' で評価する。

供試体に入射する電波の自由空間における波長を λ_0 [mm]、供試体の厚さを d [mm]、供試体に照射する電波の入射角度を θ としたとき、端面を反射板で短絡した1ポート測定における導波管内の供試体の反射係数 \dot{S} は式(1)^{10,11)}により示される。なお、導波管の開口の長辺の長さを a [mm]とすると、 θ は式(2)¹²⁾により求められる。 $\dot{S}=0$ のとき電波は供試体内で全吸収され、 $\dot{S}=1$ のとき電波は供試体表面で全反射する。 \dot{S} を用いて、式(3)より反射減衰量 RL[dB]が求められる。よって、粒径による ϵ' と μ' の変化を確認することで、スラグモルタルの電波吸収特性が評価できる。

$$\dot{S} = \frac{\frac{\mu'}{\sqrt{\epsilon'\mu' - \sin^2 \theta}} \tanh\left(j \frac{2\pi}{\lambda_0} \sqrt{\epsilon'\mu' - \sin^2 \theta} d\right) - 1 / \cos \theta}{\frac{\mu'}{\sqrt{\epsilon'\mu' - \sin^2 \theta}} \tanh\left(j \frac{2\pi}{\lambda_0} \sqrt{\epsilon'\mu' - \sin^2 \theta} d\right) + 1 / \cos \theta} \quad (1)$$

$$\theta = \sin^{-1} \left(\frac{\lambda_0}{2a} \right) \quad (2)$$

$$RL = -20 \log_{10} |\dot{S}| \quad (3)$$

(2) 電波漏洩導波管のスリット長さ

電波漏洩性能に及ぼす影響について

スペクトラムアナライザで電波が伝播する漏洩導波管のスロットから漏洩する電波をスロットごとに測定する。漏洩導波管の電波漏洩量測定装置の前部を Fig.4 に示す。送信側のスペクトラムアナライザ(ROHDE&SCHWARZ 製 FSH8) から発振された出力 0.04mW、周波数 2.45GHz の電波は、同軸ケーブルを介して、送信側の同軸導波管変換器(以下、送信用変換器という)から漏洩導波管に供給される。送信用変換器と漏洩導波管の開口部の寸法が異なるため、接合部の段差で電波が反射しないよう開口部を徐々に絞る長さ 150mm のテーパ管を経由する。漏洩導波管に供給された電波の一部は漏洩導波管の上面に設けられたスロットから漏洩する。なお、電波の安定性向上と測定誤差の低減を図るため、漏洩導波管の最初の 300mm の区間はスロットを設けない。

漏洩導波管の電波漏洩量測定装置の後部を Fig.5 に示す。後部は 2 つのパターンとする。漏洩しなかった電波は、漏洩導波管の終端部に設けられた 反射板によって反射(短絡)され、又は ダミーロードによって吸収される。反射された場合、反射波は送信用変換器と同軸ケーブルを介して送信側のスペクトラムアナライザで受信され、吸収される。スロット板を接続した同軸導波管変換器(以下、受信用変換器という)のスロットを漏洩導波管から漏洩する電波を漏洩導波管のスロットごとに受信用変換器で受信する。受信用変換器で受信された電波は同軸ケーブルを介して受信側のスペクトラムアナライザ(ROHDE&SCHWARZ 製 ETH) で受信され、漏洩導波管のスロットごとに漏洩する電波の電力が測定される。漏洩導波管から漏洩する電波の一部はスロット板のスロット位置以外の部分で反射され、漏洩導波管内に戻るため、当該装置では電波漏洩状態を完璧には把握できない。しかし、定在波が電波漏洩量に及ぼす影響など傾向は把握できる。

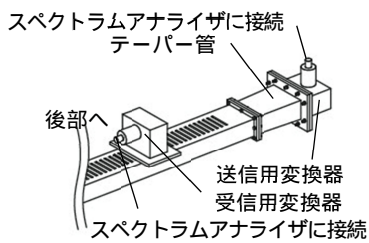


Fig.4 測定装置前部

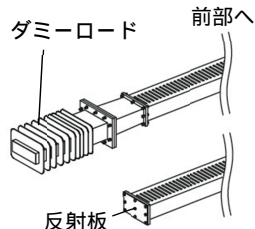


Fig.5 測定装置後部

4. 研究成果

(1) 製鋼スラグの焼成による電波吸収特性の変化傾向を明らかにした。これにより、電波吸収性能が低い製鋼スラグでも、焼成加工を施すことで、電波吸収性能を向上できるようになった。代表的な成果を示す。

スラグを焼成することでスラグモルタルの複素誘電率と複素透磁率を変化させることができ、スラグモルタルの電波を吸収しやすい厚さ(以下、マッチング厚さという)と電波吸収性能を変化させることができる。

焼成によってスラグの結晶構造が変化し、焼成によるスラグの結晶構造の変化がスラグモルタルの複素誘電率と複素透磁率の変化に影響する。

Fig.6 に示すとおり、200°C で焼成したスラグ B のスラグモルタルは未焼成のスラグ B のスラグモルタルよりも反射減衰量が大きく、34.84dB である。

スラグの焼成によるスラグモルタルの電波吸収性能の変化はスラグの種類で異なる。

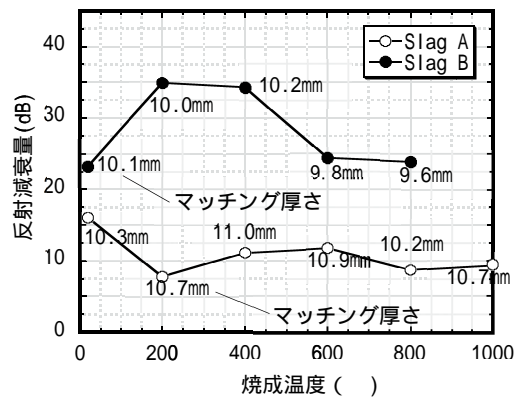


Fig.6 反射減衰量と製鋼スラグの焼成温度の関係

(2) 製鋼スラグの粒径が電波吸収特性に及ぼす影響を明らかにした。これにより、採用する製鋼スラグの粒径を変更するだけで、融雪用発熱モルタルブロックの性能を高められるようになった。代表的な成果を示す。

スラグの粒径が大きい程、スラグモルタルのマッチング厚さが薄くなると分かった。

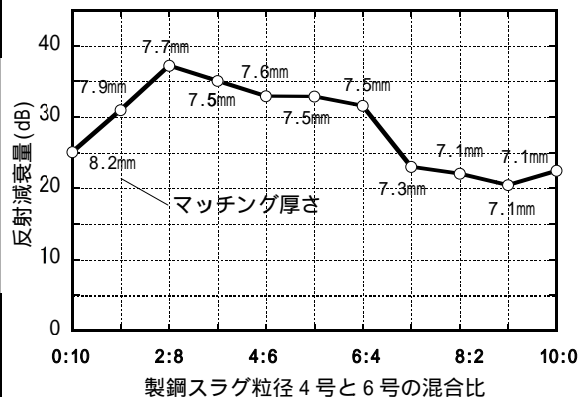


Fig.7 反射減衰量と製鋼スラグ粒径 4号(1.2~2.5mm)と6号(0.3~0.6mm)の混合比

スラグモルタルの厚さと粒径を変化させることで、反射減衰量を高めることができる。

スラグの粒径が大きくなる程、スラグモルタルの複素誘電率は実部、虚部共に大きくなり、複素透磁率はほとんど変化がない。

Fig.7 に示すとおり、粒径 4 号と 6 号のスラグを混合したスラグモルタルは混合比が 2:8 のとき、反射減衰量が 37.2dB となり、最も電波を吸収する。反射減衰量を高めるために、粒径の異なるスラグを混合することは有効である。

(3) 電波発振器から融雪用発熱モルタルブロックに電波を伝送するための電波漏洩導波管につき、スリット厚さ、長さが電波漏洩量に及ぼす影響を明らかにした。これにより、融雪用発熱モルタルブロックシステムを用いて、漏洩導波管の長さ方向にわたって一様に融雪することが可能になった。代表的な成果を示す。

本研究の成果に基づいて設計された漏洩導波管は Photo1 に示すとおり、漏洩導波管と発熱モルタルブロックの発熱を一様にできると分かった。

漏洩導波管と発熱モルタルブロックの距離によって、漏洩導波管からの電波漏洩量が変化することにつき、理論と傾向を明らかにした。

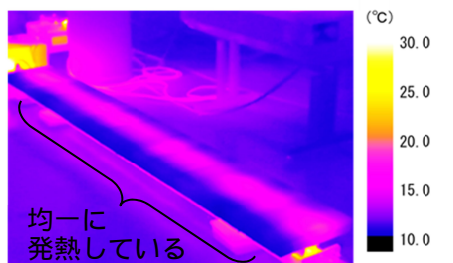


Photo1 30分経過後のサーモグラフィ

<引用文献>

- 1) 河辺伸二, 池田哲夫, 下釜一男, 安川猛行: 準マイクロ波帯におけるフェライト混入セメントモルタルの電波吸収特性, セメント・コンクリート論文集, No.52, pp.948~953, 1998.12
- 2) 河辺伸二, 池田哲夫, 安川猛行, 下釜一男: 準マイクロ波帯におけるカーボン混入セメントモルタルの電波吸収特性, セメント・コンクリート論文集, No.53, pp.951~957, 2000.2
- 3) 河辺伸二, 池田哲夫, 安川猛行: フェライト及びカーボン混入セメントモルタルの準マイクロ波吸収特性に関する研究, 日本建築学会構造系論文集, No.567, pp.1~5, 2003.5
- 4) 河辺伸二, 池田哲夫, 観田典明: 平行二線線路による準マイクロ波帯電波吸収特性の測定方法, 日本建築学会構造系論文集, No.567, pp.7~11, 2003.5

- 5) 河辺伸二, 池田哲夫, 若田佳希, 小西正夫: 準マイクロ波帯電波吸収リサイクルボードの開発, 日本建築学会構造系論文集, No.579, pp.1~5, 2004.5
- 6) 伊藤洋介, 河辺伸二: 準マイクロ波による融雪用発熱モルタルブロックの開発, 日本建築学会東海支部研究報告集, No.42, pp.49~52, 2004.2
- 7) 伊藤洋介, 河辺伸二: 準マイクロ波による融雪用発熱モルタルブロック, 日本建築学会大会学術講演梗概集, A-1, pp.433~434, 2004.8
- 8) 河辺伸二, 池田哲夫, 伊藤洋介: 準マイクロ波による融雪用発熱モルタルブロックの研究, 日本建築学会構造系論文集, No.586, pp.1~5, 2004.9
- 9) 橋本貴志, 河辺伸二, 伊藤洋介: 準マイクロ波による製鋼スラグ混入モルタルの発熱効果, 日本建築学会東海支部研究報告集, No.43, pp.141~142, 2005.2
- 10) 清水康敬他: 電磁波の吸収と遮蔽, 日経技術図書(株), 1989.1
- 11) 内藤喜之: 電波吸収体, オーム社, 1987.4
- 12) 安齋弘樹, 内藤喜之, 水本哲弥: ピラミッド型電波吸収体の斜入射特性の検討, 電子情報通信学会技術研究報告書, Vol.94, No.229, pp.9-16, 1994.9

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 19 件)

- 1) 伊藤洋介, 河辺伸二, 山下佳那子, 田口陽貴: 電気炉酸化スラグを骨材として用いたモルタルによる広帯域型電波吸収体の研究, コンクリート工学年次論文集, 第 40 巻, 査読有り, 印刷中
- 2) 田口陽貴, 伊藤洋介, 河辺伸二, 安井秀幸: 電気炉酸化スラグを骨材として用いたモルタルの含水及び材齢が電波吸収性能に及ぼす影響, コンクリート工学年次論文集, 第 40 巻, 査読有り, 印刷中
- 3) 安井秀幸, 伊藤洋介, 河辺伸二, 大羽慧: 発熱モルタルブロックの基材層の厚さがスロットアンテナの電波漏洩特性に及ぼす影響, コンクリート工学年次論文集, 第 40 巻, 査読有り, 印刷中
- 4) Yosuke Ito, Shinji Kawabe, Satoshi Ohba: Effects of thickness of the base layer on electromagnetic absorption in heating mortar blocks for snow melting through quasi microwave, Journal of Advanced Concrete Technology, vol.16, pp.170-178, 2018.4, 査読有り
- 5) 安井秀幸, 伊藤洋介, 河辺伸二, 大羽慧: 発熱モルタルブロックがスロットアンテナの電波漏洩特性に及ぼす影響 その 1

- 基材のモルタルによる電波漏洩特性の変化, 日本建築学会東海支部研究報告集, 56号, pp.1-4, 2018.2, 査読無し
- 6) 大羽慧, 伊藤洋介, 河辺伸二, 安井秀幸: 発熱モルタルブロックがスロットアンテナの電波漏洩特性に及ぼす影響 その2 電波遮蔽材及びスラグモルタルによる電波漏洩特性の変化, 日本建築学会東海支部研究報告集, 56号, pp.5-8, 2018.2, 査読無し
 - 7) 田口陽貴, 伊藤洋介, 河辺伸二, 安井秀幸: 融雪用発熱モルタルの含水率及び水中養生期間が電波吸収性能に及ぼす影響, 日本建築学会東海支部研究報告集, 56号, pp.9-12, 2018.2, 査読無し
 - 8) 山下佳那子, 伊藤洋介, 河辺伸二, 田口陽貴: 電気炉酸化スラグ混入モルタルを用いた電波吸収体の広帯域化, 日本建築学会東海支部研究報告集, 56号, pp.13-16, 2018.2, 査読無し
 - 9) 伊藤洋介, 河辺伸二, 大羽慧: 準マイクロ波による融雪用発熱モルタルブロックシステムの基材層の厚さが電波吸収性能に与える影響, 日本建築学会構造系論文集, No.739, pp.1321-1327, 2017.9, 査読有り, <https://doi.org/10.3130/aijs.82.132>
 - 10) 伊藤洋介, 河辺伸二, 吉田成克: 電気炉酸化スラグ骨材の粒径による準マイクロ波帯における電波吸収性能の改善, 中部セメントコンクリート工学論文集, 30号, pp.31-36, 2017.9, 査読無し
 - 11) 伊藤洋介, 河辺伸二, 大羽慧, 安齋弘樹: 準マイクロ波による融雪用発熱モルタルブロックシステムの漏洩導波管のスロット形状に関する研究, 日本建築学会構造系論文集, No.737, pp.969-978, 2017.7, 査読有り, <https://doi.org/10.3130/aijs.82.96>
 - 12) 伊藤洋介, 河辺伸二, 田口陽貴: 準マイクロ波による融雪用発熱モルタルに混入する電気炉酸化スラグの粒径が電波吸収特性に及ぼす影響, 日本建築学会学術講演梗概集(中国), pp.389-390, 2017.7, 査読無し
 - 13) 田口陽貴, 伊藤洋介, 河辺伸二: 電気炉酸化スラグの焼成が融雪用発熱モルタルの複素誘電率と複素透磁率に及ぼす影響, 日本建築学会学術講演梗概集(中国), pp.389-390, 2017.7, 査読無し
 - 14) 大羽慧, 伊藤洋介, 河辺伸二: 有限要素法を用いた融雪用発熱モルタルブロックシステムの漏洩導波管の解析, 日本建築学会学術講演梗概集(中国), pp.391-392, 2017.7, 査読無し
 - 15) 伊藤洋介, 河辺伸二, 吉田成克: 電気炉酸化スラグ骨材の粒径による準マイクロ波帯における電波吸収性能の改善, コンクリート工学年次論文集, 第39巻, pp.523-528, 2017.7, 査読有り
 - 16) 田口陽貴, 伊藤洋介, 河辺伸二: 電気炉酸化スラグ骨材の焼成による準マイクロ波帯における電波吸収性能の改善, コンクリート工学年次論文集, 第39巻, pp.517-522, 2017.7, 査読有り
 - 17) 大羽慧, 伊藤洋介, 河辺伸二: 有限要素法解析による融雪用発熱モルタルブロックシステムの漏洩導波管の設計, コンクリート工学年次論文集, 第39巻, pp.499-504, 2017.7, 査読有り
 - 18) 田口陽貴, 伊藤洋介, 河辺伸二: 電気炉酸化スラグの焼成が融雪用発熱モルタルの複素誘電率と複素透磁率に及ぼす影響, 日本建築学会東海支部研究報告集, 第55号, pp.17-20, 2017.2, 査読無し
 - 19) 吉田成克, 伊藤洋介, 河辺伸二: 準マイクロ波による融雪用発熱モルタルに混入する電気炉酸化スラグの粒径が電波吸収特性に及ぼす影響, 日本建築学会東海支部研究報告集, 第55号, pp.13-16, 2017.2, 査読無し
- 〔学会発表〕(計16件)
- 1) 伊藤洋介, 河辺伸二, 山下佳那子, 田口陽貴: 電気炉酸化スラグを骨材として用いたモルタルによる広帯域型電波吸収体の研究, 日本コンクリート工学会年次大会, 2018.7, 発表予定
 - 2) 田口陽貴, 伊藤洋介, 河辺伸二, 安井秀幸: 電気炉酸化スラグを骨材として用いたモルタルの含水及び材齢が電波吸収性能に及ぼす影響, 日本コンクリート工学会年次大会, 2018.7, 発表予定
 - 3) 安井秀幸, 伊藤洋介, 河辺伸二, 大羽慧: 発熱モルタルブロックの基材層の厚さがスロットアンテナの電波漏洩特性に及ぼす影響, 日本コンクリート工学会年次大会, 2018.7, 発表予定
 - 4) 安井秀幸, 伊藤洋介, 河辺伸二, 大羽慧: 発熱モルタルブロックがスロットアンテナの電波漏洩特性に及ぼす影響 その1 基材のモルタルによる電波漏洩特性の変化, 日本建築学会東海支部研究集会, 2018.2
 - 5) 大羽慧, 伊藤洋介, 河辺伸二, 安井秀幸: 発熱モルタルブロックがスロットアンテナの電波漏洩特性に及ぼす影響 その2 電波遮蔽材及びスラグモルタルによる電波漏洩特性の変化, 日本建築学会東海支部研究集会, 2018.2
 - 6) 田口陽貴, 伊藤洋介, 河辺伸二, 安井秀幸: 融雪用発熱モルタルの含水率及び水中養生期間が電波吸収性能に及ぼす影響, 日本建築学会東海支部研究集会, 2018.2
 - 7) 山下佳那子, 伊藤洋介, 河辺伸二, 田口陽貴: 電気炉酸化スラグ混入モルタルを用いた電波吸収体の広帯域化, 日本建築学会東海支部研究集会, 2018.2
 - 8) 伊藤洋介, 河辺伸二, 吉田成克: 電気炉

酸化スラグ骨材の粒径による準マイクロ波帯における電波吸収性能の改善, 中部セメントコンクリート研究会研究発表会, 2017.9

- 9) 伊藤洋介, 河辺伸二, 田口陽貴: 準マイクロ波による融雪用発熱モルタルに混入する電気炉酸化スラグの粒径が電波吸収特性に及ぼす影響, 日本建築学会大会, 2017.7
- 10) 田口陽貴, 伊藤洋介, 河辺伸二: 電気炉酸化スラグの焼成が融雪用発熱モルタルの複素誘電率と複素透磁率に及ぼす影響, 日本建築学会大会, 2017.7
- 11) 大羽慧, 伊藤洋介, 河辺伸二: 有限要素法を用いた融雪用発熱モルタルブロックシステムの漏洩導波管の解析, 日本建築学会大会, 2017.7
- 12) 伊藤洋介, 河辺伸二, 吉田成克: 電気炉酸化スラグ骨材の粒径による準マイクロ波帯における電波吸収性能の改善, 日本コンクリート工学会年次大会, 2017.7
- 13) 田口陽貴, 伊藤洋介, 河辺伸二: 電気炉酸化スラグ骨材の焼成による準マイクロ波帯における電波吸収性能の改善, 日本コンクリート工学会年次大会, 2017.7
- 14) 大羽慧, 伊藤洋介, 河辺伸二: 有限要素法解析による融雪用発熱モルタルブロックシステムの漏洩導波管の設計, 日本コンクリート工学会年次大会, 2017.7
- 15) 田口陽貴, 伊藤洋介, 河辺伸二: 電気炉酸化スラグの焼成が融雪用発熱モルタルの複素誘電率と複素透磁率に及ぼす影響, 日本建築学会東海支部研究集会, 2017.2
- 16) 吉田成克, 伊藤洋介, 河辺伸二: 準マイクロ波による融雪用発熱モルタルに混入する電気炉酸化スラグの粒径が電波吸収特性に及ぼす影響, 日本建築学会東海支部研究集会, 2017.2

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 1 件)

名称: 電波式発熱装置
発明者: 伊藤洋介, 河辺伸二
権利者: 国立大学法人名古屋工業大学, ジーエネックス株式会社, 株式会社ホクコン
種類: 特許
番号: 特願 2017-113463
出願年月日: 2017.6.8
国内外の別: 国内

6. 研究組織

(1)研究代表者

伊藤 洋介 (ITO, Yosuke)
名古屋工業大学大学院社会工学専攻・助教
研究者番号: 00757338

(2)研究協力者

河辺 伸二 (KAWABE, Shinji)
名古屋工業大学大学院社会工学専攻・教授