

令和 4 年 6 月 17 日現在

機関番号：13101

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19H02211

研究課題名(和文) 大幅な発生CO₂削減が可能な高活性 β -C₂Sを主原料とした再生セメントの材料設計研究課題名(英文) Material design of recycled cement composed of highly reactive β -C₂S, achieving significant CO₂ reduction

研究代表者

斎藤 豪 (SAITO, TSUYOSHI)

新潟大学・自然科学系・准教授

研究者番号：90452010

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 10,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、高活性ベーライトを水和させることで得たCa/Si比2.0のC-S-Hに対するAl置換性状と再焼成によるベーライトの再生に関する検討を行った。その結果、Alは4配位、6配位AlとしてCa/Si比2.0のC-S-Hにおける架橋部分に取り込まれ、置換量の増加に伴い底面間隔が広がることが示された。一方で、高Ca/Si比のC-A-S-Hからは800℃焼成によりベーライトが再生することが明らかとなった。この時、Al置換量の増加に伴い、 β -C₂Sから β' -C₂Sの生成が優位となる傾向が見られ、結晶子径ならびに比表面積は水和前のベーライトと同等であることを確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

骨材等に含まれるAlが、本再生セメントシステムに取り込まれた場合でも、再生セメントサイクルを維持できることが示されたことは、実用的価値が示されたものといえる。

研究成果の概要(英文)：This paper investigates the Al substitution properties in C-S-H with a Ca/Si ratio of 2.0 obtained by hydrating highly reactive belite, and the regeneration of belite by re-calcinating. The results show that Al was incorporated bridging site in C-S-H with a Ca/Si ratio of 2.0 as 4- and 6-coordinated Al and that the basal spacing increased with an increase in the amount of substitution. On the other hand, belite was regenerated from C-A-S-H with a high Ca/Si ratio by calcinating at 800 degrees C. The crystallite diameter and specific surface area of the regenerated belite were similar to those of the pre-hydrated belite, indicating that the formation of β' -C₂S was predominant over β -C₂S with increasing Al substitution. These results indicate that recyclable cement may sustain the regeneration cycle even if its key element, C-S-H with a Ca/Si ratio of 2.0, is altered by Al.

研究分野：セメントコンクリート化学

キーワード：再生可能セメント 高Ca/Si比 C-A-S-H 高活性Ca₂SiO₄、結晶子径 錯体重合法 27Al MAS NMR、²⁹Si MAS NMR

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

2018年におけるG20参加国のポルトランドセメントの生産量¹⁾は約33億トンであり、その内の54.5%を中国が占めている。一方で、IEAの報告²⁾では2050年までにインドやアフリカなどを中心とした人口増加に伴うコンクリート需要の増加によりセメント生産量が2014年比で23%上昇することを予測されている。また、2100年までの世界的な温度上昇を2℃以下に抑制するシナリオ³⁾を達成するために、セメント産業は2050年までに温室効果ガスを2014年比で24%削減することを求められている。

上記のような社会的課題に対して、本研究グループでは繰り返し再生して使用可能な「再生可能セメント」という新しい材料設計を提案^{4, 5, 6)}している。再生可能セメントは、CaO/SiO₂モル比2.0の低結晶質のC-S-H^{4, 5)}もしくはCa₂SiO₄前駆体⁶⁾を800℃で焼成することで得られる高活性Ca₂SiO₄の特性を利用したセメント設計である。前述の手順で生成した高活性Ca₂SiO₄はOPC中のエーライトと同等の水和反応性を有しており⁵⁾、水和時には殆ど水酸化カルシウムの生成を伴わず、Ca/Si比2.0程度の低結晶質C-S-Hが析出する。つまり、水和時のC-S-HはCa₂SiO₄の組成比を維持しており、出発時のCa/Si比2.0の低結晶質C-S-Hと同じ物質となる。これはすなわち、高活性Ca₂SiO₄を水和した際に生成するCa/Si比2.0の低結晶質C-S-Hに変質が生じなければ、理論上は水和と800℃の焼成により、何度でも再生が可能となる。この点から、一度再生可能セメントとして製造を行えば、その供用終了後にコンクリート廃棄物中の水和物から高活性Ca₂SiO₄を再生することが可能となるため、資源保護ならびに焼成の省エネルギー化を達成することが可能となる。加えて、セメントクリンカーに代わる補助的なセメント質材料の使用割合を増加させる材料設計^{7, 8)}とは異なり、水和物中の生成物は低結晶質のC-S-Hに限定されることから、これまでコンクリートを対象として研究されてきた耐久性および機械的特性の評価指針がそのまま適用できる可能性も高い。

他方、コンクリート構造物においてはC-S-Hの炭酸化や骨材由来のシリカ、アルミの混入が生じる。この中でもAlは、C-S-Hの構造中に取り込まれ、シリカ四面体と置換することが広く知られており⁹⁾、再生可能セメントの要となるCa/Si比2.0のC-S-Hの変質および再生サイクルへの影響を考慮しなければならない。

2. 研究の目的

本研究では再生可能セメントにおけるサイクル維持の観点から、高活性Ca₂SiO₄を水和させる際にAlを添加することで、水和により生成するCa/Si比2.0の低結晶質C-S-Hに対するAlの置換性状を評価した。また、Alを含有する高Ca/Si比の低結晶質C-A-S-Hを再焼成した際のCa₂SiO₄の生成挙動ならびに、粒子径および結晶子の観点から物質的性質を評価することで、再生サイクルの成立に関して評価を行った。

3. 研究の方法

高活性Ca₂SiO₄に対する二つのAl源の添加率は、ポルトランドセメント中のAl₂O₃割合が2.7%~5.1%であることを考慮して、Al₂O₃として1, 3, 6%となるように添加した。高活性Ca₂SiO₄にAlを添加したのち、水粉体質量比2.0としてイオン交換水による練り混ぜを行った。水和条件は温度25℃、養生日数7, 28, 91日とした。材齢に達した試料は、イソプロパノール浸漬により水和停止処理を行い、メッシュ径90 μmのふるいを貫通したものを分析試料とした。Ca₂SiO₄の再生成に関する評価を行う際には、養生91日目の試料のイソプロパノール浸漬は行わずに、105℃で1日乾燥した後に800℃で3時間の焼成を行った。

2.3 分析方法

(1) 粉末X線回折およびリートベルト解析

水和物および焼成試料における結晶情報を得るためにPANalytical社製卓上型X線回折装置Aerisによる測定を行った。測定条件は、ターゲットCu-K α 、管電圧40 kV、管電流15 mAとして、走査範囲5-70 deg. 2 θ 、ステップ幅0.02°とした。選択配向による影響を低減するため、試料は90 μm以下として試料ホルダーを0.25 rpsで回転させながら測定を行った。

定性および定量分析には、HighScoreを使用し、定量分析は、外部標準法¹⁰⁾により行った。また、試料中の鉱物の結晶子径についても同ソフトを用いて算出した。

(2) ²⁷Si MAS NMR

水和試料中のSi原子結合状態に関する評価を行うことを目的として、Oxford Instruments社製ECA500(磁場強度:500 MHz、パルス幅:3.2 μs)を用いてDipolar Decoupling(DD)法による²⁹Si MAS NMR測定を行った。測定条件は、MAS周波数10 kHz、積算回数840回、待ち時間100秒とした。

²⁹Si DD-MASスペクトルは、ローレンツ関数によるデコンボリューションを行い、各成の相対強度を算出し既往の文献¹¹⁾に基づいてC-(A)-S-Hの平均アルミノシリケート鎖長(The mean aluminosilicate chain length: MCL)を算出した。

(3) ²⁹Al MAS NMR

試料中の Al 原子結合状態に関する評価を行うことを目的として、JEOL 社製 ECZ800 (磁場強度 : 800 MHz、パルス幅 : 90°) を用いて ^{27}Al MAS NMR 測定を行った。測定条件は、MAS 周波数 20 kHz、積算回数 256 回、待ち時間 1 秒とした。

(4) 窒素吸着測定

試料の比表面積は、マイクロトラック・ベル社製 BELSORP max- を用いて、77 K における窒素吸着量を測定し BET 多点法により算出した。試料は、105 で 1 時間の排気処理を行った。

4 . 研究成果

4.1 XRD/Rietveld 解析による再焼成試料の評価

Al 添加率 1~6 % として 91 日間養生した試料を再焼成した際の Ca_2SiO_4 再生に関して検討することを目的として、各水和試料を 800 で 3 時間焼成した。Fig. 1 には、各水和試料を 800 で 3 時間焼成した再焼成試料の XRD パターンを示している。

初めに、Al 無添加の試料を 800 で 3 時間再焼成した試料に着目すると、結晶相として β - C_2S および γ - C_2S が生成していることが確認できる。水和前の Ca_2SiO_4 と比較すると、 β - C_2S に起因する $2\theta = 32.1^\circ$ の回折ピークが僅かに減少しているものの、ほぼ同様の回折パターンを示している。また、 γ -アルミナおよび C_3A 添加試料においては、結晶相として β - C_2S および γ - C_2S が生成していることが確認できるが、上記以外の結晶相の生成は認められなかった。

γ -アルミナを添加した系における再焼成後の β - C_2S の回折ピークについては、Al の添加率の増加に従い $2\theta = 32.1^\circ$ の回折ピークが減少していき、ショルダーピークを残しながらも $2\theta = 32.5^\circ$ の回折ピークとして成長していることが確認できる。また、 $2\theta = 33.1^\circ$ に出現する γ - C_2S の回折ピークは、Al の添加率の増加とともに大きくなる傾向を示した。

続いて、 C_3A を添加した系の再焼成試料では、 γ -アルミナを添加した場合と同様に結晶相として β - C_2S および γ - C_2S が生成しているが、 $2\theta = 32.1^\circ$ の回折ピークは Al 添加率 1 % の条件から消失しており、 $2\theta = 32.5^\circ$ の明瞭な回折として検出された。また、 γ - C_2S に起因する $2\theta = 33.1^\circ$ の回折ピークは、 C_3A 添加率が 3 %、6 % となると回折強度が増加していることが確認できる。

前述した Ca_2SiO_4 の形態変化は、XRD および NMR の結果からも示されているように、Ca/Si 比 2.0 の低結晶質 C-S-H が Al を取り込み C-A-S-H を形成した影響を受けていることが考えられる。

β - C_2S の安定性に対する化学的安定化イオンについては、広範囲に渡り研究¹⁸⁾されており、A. Cuesta らは Al が Ca_2SiO_4 中のケイ酸塩と置換することで β 型が安定化することを報告¹⁹⁾している。しかしながら、本研究では Al 置換量と再焼成後の β 型生成量に相関が見られることから、上記の報告とは異なる傾向を示す結果となった。これは、本検討において Ca/Si 比 2.0 の低結晶質を再焼成した際には、加熱脱水により Ca_2SiO_4 が生成しており、A. Cuesta らが行った高温焼結を利用したプロセスと生成メカニズムが異なることが要因であると思われる。

他方、 C_3A の添加率に付随して増加していた水酸化カルシウムは、800 の焼成によって消失しているにもかかわらず、 $2\theta = 32^\circ$ 、 37° 付近に回折ピークが見られないことから、酸化カルシウムの生成が生じていないことが考えられる。

4.2 再生した Ca_2SiO_4 の定量および再生率

Fig. 2 には、XRD/Rietveld 解析により定量した各試料中の相組成ならびに Ca_2SiO_4 としての再生率を示している。

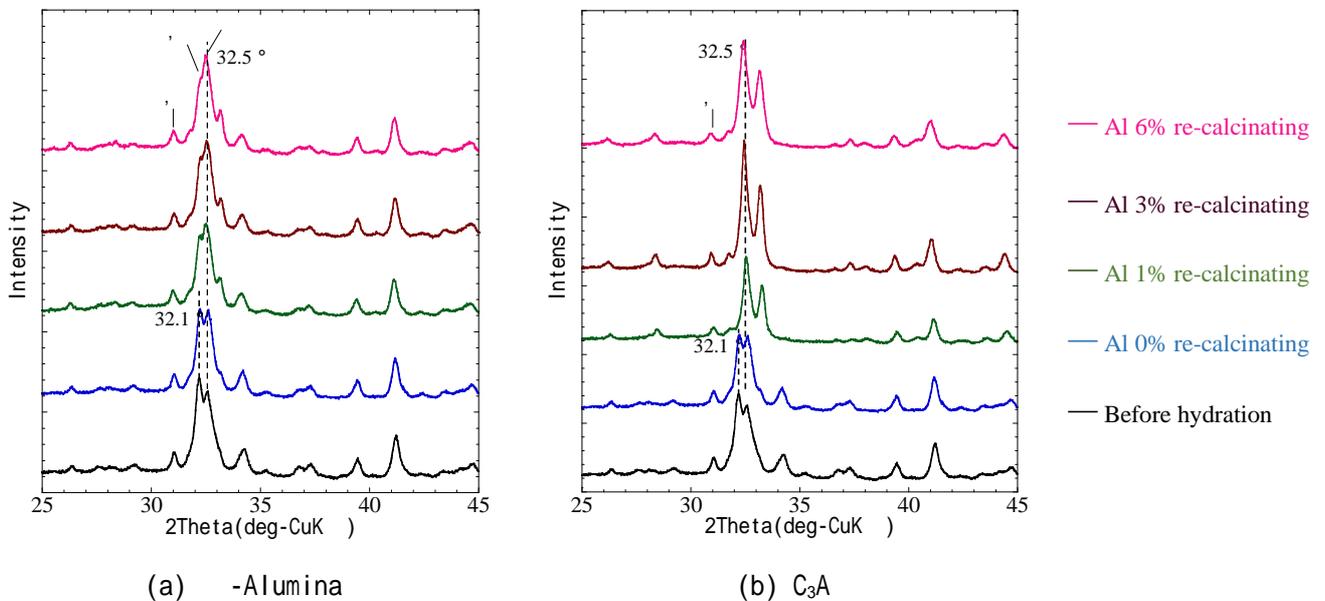


Fig. 1 XRD patterns of the reheated samples with 0-6 % addition of (a) γ -Alumina or (b) C_3A
: C_2S , : γ - C_2S

各試料中の Ca_2SiO_4 の定量値に着目すると、水和前の Ca_2SiO_4 は 62.30 % であり、Al 無添加試料では 63.50 % であることから再生率が 102 % であることが確認できる。また、 γ -アルミナを添加した系でも 101-113 % の再生率を示しており、Al 添加率の増加に伴い C_2S は減少する一方で、 γ - C_2S が増加する傾向が見られた。 C_3A を添加した系の Ca_2SiO_4 の定量値を見ると、3 %、6 % 添加した試料においては 86.20 % および 87.40 % となっており、再生率にして 140 % 程度である。

水和前の Ca_2SiO_4 は 62.30 % であり、残りの 37.70 % の Ca_2SiO_4 前駆体が非晶質相として残存している状態であると考えられる。また、この非晶質相が結晶化しない理由としては、錯体重合法による調製の段階で Ca/Si 比が部分的に 2.0 を下回っている可能性が考えられる。これを踏まえると、 γ -アルミナを添加した系では Al の添加によるカルシウムの増加がないため、出発物質である Ca_2SiO_4 の水和により生成した Ca/Si 比 2.0 の低結晶質 C-S-H は、再焼成することで全量が Ca_2SiO_4 として再生しているものと考察した。

他方、 C_3A を添加した系において Ca_2SiO_4 の再生率が 140 % 程度まで増加する結果は、 C_3A が水和した際に放出される Ca^{2+} イオンが非晶質相の Ca_2SiO_4 前駆体に取り込まれたことで Ca/Si 比が向上し、800 °C という低温焼成によって Ca_2SiO_4 に結晶化したものと考察した。加えて、前節にて 800 °C 焼成により水酸化カルシウムが熱分解しているにもかかわらず、酸化カルシウムが生成していない点を踏まえると、水酸化カルシウム由来のカルシウムは再焼成の際に非晶質相として残存していた Ca_2SiO_4 前駆体の一部と焼結している可能性が考えられる。また、 C_3A が水和した際に放出される Al が水和により生成した C-S-H 中のシリケートアニオン鎖構造に取り込まれることに加えて、非晶質相の Ca_2SiO_4 前駆体に固溶することで再焼成時には γ - C_2S の生成が優位となることが考えられる。

4.3 結晶子径および比表面積の評価

再焼成によって再生した Ca_2SiO_4 の活性指標について評価するため、Fig. 6 には Rietveld 解析から算出した C_2S および γ - C_2S の結晶子サイズと窒素吸着等温線から BET 多点法により算出した比表面積値を示す。

(1) C_2S および γ - C_2S の結晶子径

Fig. 3 に示した再生前後の γ -C₂S および β -C₂S の結晶子サイズは、水和前における Ca₂SiO₄ では γ -C₂S が 24.86 nm、 β -C₂S が 29.75 nm であり、Al 無添加時ではそれぞれ、26.74 nm および 31.89 nm として再生する。 β -アルミナ添加系では、添加率に関わらず γ -C₂S の結晶子サイズが 24.86~27.00 nm の結晶子サイズとして再生することが確認できる。また、 β -C₂S は β -アルミナ 1 % 試料で 21.40 nm となり、他の添加率の試料とは 10 nm 程度小さいものの概ね 21~35 nm 程度の結晶子サイズとして再生していることが示された。

続いて、C₃A 添加系の結晶子サイズに着目すると、C₃A 添加率 1 % の条件から γ -C₂S の結晶子サイズは 13.60~14.8 nm となっており、前述した試料中に存在する γ -C₂S の半分程度の大きさであることが確認できる。これは、C₃A 添加条件では β -C₂S が優位となっていることを踏まえると、 γ -C₂S 結晶子が未発達の状態で生成を終えたものと考えられる。一方で、 β -C₂S に関しては、前述したこれまでの試料と同様の 31 nm 程度の結晶子であることが確認された。

(2) 各焼成試料の比表面積値

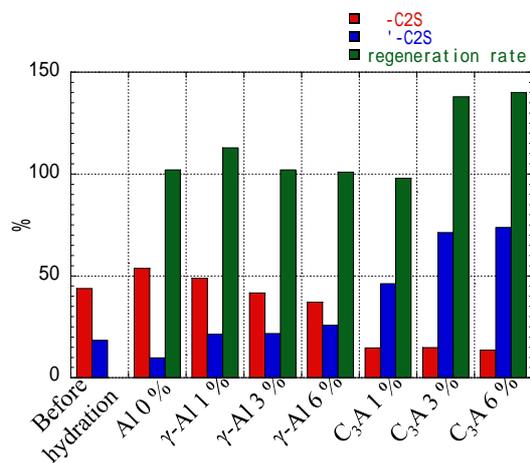


Fig. 2 Quantitative value of Ca₂SiO₄ and regeneration rate in the sample after recycling

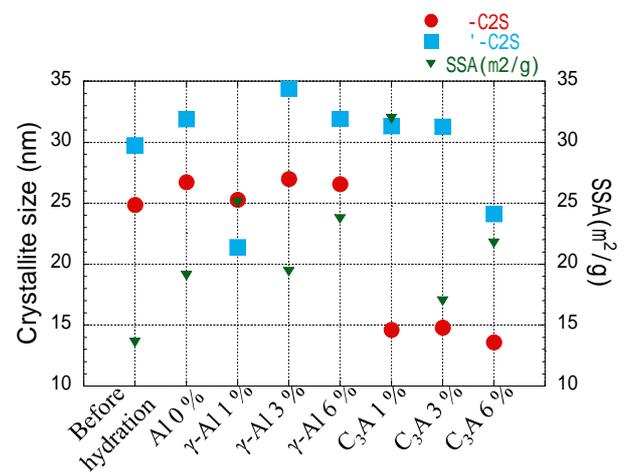


Fig. 3 Crystallite size (nm) and specific surface area (m²/g)

Fig. 3 に示した各試料の比表面積値に着目すると、水和前の Ca₂SiO₄ で 13.6 m²/g であり、再焼成後の Ca₂SiO₄ はいずれの条件においても、17.0~32.0 m²/g の比表面積となることが確認できる。OPC の比表面積が 0.6 m²/g であることを踏まえると、水和前の Ca₂SiO₄ を含めてすべての焼成試料は水和活性が高いと言える。また、再生後には β -C₂S が優位となることに加えて、再生前後の結晶子径が同等であることを考慮すると、Al 置換後に再生した Ca₂SiO₄ は、再生前のものよりも高い水和反応性を有することが考えられる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計15件（うち査読付論文 15件 / うち国際共著 1件 / うちオープンアクセス 15件）

1. 著者名 IGAWA Yoshitaka, SAITO Tsuyoshi, SUZUKI Kazuho, HOSOKAWA Yoshifumi	4. 巻 74
2. 論文標題 STUDY ABOUT C-S-H WITH HIGH C/S RATIO SYNTHESIZED BY COMPLEX POLYMERIZATION METHOD	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Cement Science and Concrete Technology	6. 最初と最後の頁 325 ~ 332
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14250/cement.74.325	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 MITSUMORI Yosuke, SAITO Tsuyoshi, SAEKI Tatsuhiko, SUZUKI Kazuho	4. 巻 74
2. 論文標題 EFFECT OF DEFERENCES OF AI OR CURING DEGREE ON CRYSTAL OF TOBERMORITE	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Cement Science and Concrete Technology	6. 最初と最後の頁 2 ~ 8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14250/cement.74.2	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 INO Takumi, SAITO Tsuyoshi, SUZUKI Kazuho, SAEKI Tatsuhiko	4. 巻 74
2. 論文標題 HYDRATION REACTION AND CONSIDERATIONS FOR SOILS TREATED BY BLAST-FURNACE SLAG, ANHYDRITE AND LIME STONE POWDER	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Cement Science and Concrete Technology	6. 最初と最後の頁 349 ~ 356
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14250/cement.74.349	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 SUZUKI Kazuho, SAITO Tsuyoshi, IGAWA Yoshitaka, HOSOKAWA Yoshifumi	4. 巻 74
2. 論文標題 THE EFFECTS OF SODIUM CHLORIDE ON THE HYDRATION MECHANISM OF THE HIGHLY REACTIVE $2CaO \cdot SiO_2$	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Cement Science and Concrete Technology	6. 最初と最後の頁 357 ~ 364
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14250/cement.74.357	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 KONDO Shota, SAITO Tsuyoshi, SUZUKI Kazuho, HOSOKAWA Yoshifumi	4. 巻 74
2. 論文標題 STUDIES ON SYNTHESIS OF HIGHLY REACTIVE C_2S BY LOW-TEMPERATURE HEATING OF CARBONATED C-S-H WITH Ca/Si=2.0 AND UTILIZATION OF CARBONATION REACTION	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Cement Science and Concrete Technology	6. 最初と最後の頁 365 ~ 372
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14250/cement.74.365	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 KONAKAWA Takumi, SAITO Tsuyoshi, SUZUKI Kazuho, SAEKI Tatsuhiko	4. 巻 74
2. 論文標題 FUNDAMENTAL STUDY ON HIGHLY REACTIVE C_2S SYNTHESIZED BY COMPLEX POLYMERIZATION METHOD AND APPLICATION TO CONCRETE	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Cement Science and Concrete Technology	6. 最初と最後の頁 373 ~ 379
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14250/cement.74.373	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 加藤福将, 斎藤豪, 松井久仁雄, 佐伯竜彦	4. 巻 73
2. 論文標題 異なる条件で乾燥したMg・アルカリ添加型1.4nmトバモライトの結晶構造および凝集体構造に関する検討	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 セメント・コンクリート論文集	6. 最初と最後の頁 10-17
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14250/cement.73.10	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 井川義貴, 斎藤豪, 鈴木一帆, 細川佳史	4. 巻 73
2. 論文標題 錯体重合法によるC-S-H重合体の合成と高比表面積 C_2S の作製及びその水和性状に関する検討	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 セメント・コンクリート論文集	6. 最初と最後の頁 363-370
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14250/cement.73.363	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 林良祐, 斎藤豪, 佐藤賢之介, 佐伯竜彦	4. 巻 73
2. 論文標題 モノカーボネートの配合量及び養生温度の相違がエトリンサイト ソーマサイト生成に及ぼす影響	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 セメント・コンクリート論文集	6. 最初と最後の頁 18-25
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14250/cement.73.18	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また, その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 三森耀介, 斎藤豪, 加藤福将, 佐伯竜彦	4. 巻 73
2. 論文標題 トバモライトの生成および結晶構造にAlとMgが及ぼす影響	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 セメント・コンクリート論文集	6. 最初と最後の頁 2-9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14250/cement.73.2	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また, その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 鈴木一帆, 斎藤豪, 井川義貴, 細川佳史	4. 巻 73
2. 論文標題 塩化カルシウムを用いた共沈法によるC-S-Hの合成とセメントの再生サイクルに関する検討	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 セメント・コンクリート論文集	6. 最初と最後の頁 421-428
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14250/cement.73.421	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また, その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 須田裕哉, 富山潤, 斎藤豪, 佐伯竜彦	4. 巻 73
2. 論文標題 セメント硬化体の炭酸化収縮と水和物に及ぼす相対湿度の影響	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 セメント・コンクリート論文集	6. 最初と最後の頁 71-78
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14250/cement.73.71	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また, その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 井貝武史, 佐伯竜彦, 斎藤豪, RIDHWAN ANAS	4. 巻 73
2. 論文標題 トラックアジテータにおけるシリカフェームスラリー添加方法に関する基礎的検討	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 セメント・コンクリート論文集	6. 最初と最後の頁 459-464
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14250/cement.73.459	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また, その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Kennosuke Sato, Tsuyoshi Saito, Michio Kikuchi, Tatsuhiko Saeki	4. 巻 17, 5
2. 論文標題 Relationship between expansion characteristics of heat-cured mortars during water curing and origins of ettringite formation	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Advanced Concrete Technology	6. 最初と最後の頁 260-268
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3151/jact.17.260	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また, その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 野澤里渚子, 斎藤豪, 佐藤賢之介, 佐伯竜彦	4. 巻 68, 1
2. 論文標題 乾燥条件および温度履歴が炭酸型エトリンガイトの結晶構造に及ぼす影響	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 材料	6. 最初と最後の頁 55-61
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2472/jsms.68.55	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また, その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担 者	佐伯 竜彦	新潟大学・自然科学系・教授	
	(SAEKI TATSUHIKO)		
	(90215575)	(13101)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------