

令和元年6月6日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2015～2018

課題番号：15H04168

研究課題名（和文）持続型低炭素製鉄を目指した高温プロセス内原料軟化融着挙動可視化技術の開発

研究課題名（英文）Development of visualization technology for raw material softening behavior in high temperature process aiming for sustainable low carbon ironmaking

研究代表者

大野 光一郎 (Ohno, Ko-ichiro)

九州大学・工学研究院・准教授

研究者番号：50432860

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 12,600,000円

研究成果の概要（和文）：持続型低炭素製鉄を目指した高温プロセス内原料軟化融着挙動可視化技術を開発することを目的として、高温荷重条件下スラグ充填層の軟化・溶融に伴う通気・通液状態変化を対象とした高温実験を行ない、マイクロCTによる充填層三次元構造情報及び系内で生成するスラグ融体の物性値を粒子法数値シミュレーションへフィードバックすることで、スラグ充填層荷重軟化に伴う層内通気挙動を予測する基礎的数学モデルを構築した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

原料鉱石の軟化・融着に伴う溶鉱炉プロセスでは、炉内の安定した通気性・通液性の確保が最も重要な操業因子の一つである。従来の炉内通気・通液性の推算方法では、固体原料鉱石の粒径を基準としていたため、原料軟化による形状変化や溶融に伴う融着現象を正しく反映することが困難であった。本課題で開発した原料同士の融着に伴って縮小していく通気・通液のための有効経路の直接算出技術により、溶鉱炉操業の安定化が期待できる。

研究成果の概要（英文）：In order to develop “visualization technology for raw material softening behavior in high temperature process aiming for sustainable low carbon ironmaking”, 3D dimensional information and slag melt physical properties of slag particle bed layer during softening at high temperature were given to particle method numerical simulation. As a result, basic numerical model to predict for gas and liquid flow in slag particle bed layer during softening at high temperature was established.

研究分野：金属生産プロセス工学

キーワード：金属生産工学 シミュレーション工学 高温融体物性 融着帯 可視化技術 粒子法 荷重軟化試験 高炉

様式 C-19, F-19-1, Z-19, CK-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

膨大なエネルギーを消費する鉄鋼業においてCO₂排出量の削減は緊急かつ最重要の課題である。従来コークスに頼ってきた鉄鉱石の還元反応をグリーンエネルギーである水素で代替する製鉄プロセスでは、従来の高炉法製鉄プロセスから排出されてきた日本の総排出量中 11%をも占めるCO₂排出量の大幅な削減が可能である次世代製鉄法として大きな期待を集めている。また、木質系バイオマスなどのカーボンニュートラル炭材を用いたコークス置換による製鉄プロセス低炭素化を目的とした研究では、カーボンニュートラル炭材はコークスと比して、鉄鉱石の還元反応および溶解反応に有利であることを明らかにされてきた。しかしながら、コークスは単に鉄鉱石の還元材としてのみ働いているわけではなく、巨大な向流型移動層反応容器である高炉内部において、炉下部から音速で吹き込まれ炉頂部まで数秒で到達し排出される熱風、鉄鉱石が還元され溶けることにより生じる溶鉄および熔融スラグの炉底部への滴下と言った、気体および液体の流れを担保するための、固体スパーサーとしての重要な役割を果たしている。すなわち水素ガスによるコークス置換は、これら流体の物理的な振る舞いに変化を及ぼすことが懸念され、カーボンニュートラル炭材による置換では、製鉄プロセス内の化学反応を有利に進める反面、高炉内のスパーサーとしての能力(圧壊強度)は低いため、炉内流体のスムーズな流通にネガティブに働く可能性が指摘されている。特に鉄鉱石が軟化熔融しガスの不透過相を形成する高炉下部融着帯においてその影響が大きく表れると予想される。すなわち、変わりゆく原料事情に対応しながら各種低炭素化技術を駆使したCO₂排出量削減技術を実現するためには、化学反応のみならず物理現象の側面から見た高炉内現象の正しい理解が必要不可欠であると言える。

2. 研究の目的

本申請課題では「高炉融着帯生成挙動解析システムによる震災起因木質系バイオマスの製鉄利用最適化研究(課題番号 24686084)」により構築した革新的軟化熔融シミュレーターと、本課題で構築する高温融体物性その場測定システム、およびそれらの知見をフィードバックして構成する粒子法による数値シミュレーションモデルを駆使することによって、持続型低炭素製鉄を目指した高温プロセス内原料軟化融着挙動可視化技術を開発することを目的とする。

3. 研究の方法

九州大学の野は、高炉融着帯近傍における圧力損失増大の主要因の一つである、スラグ成分の軟化・熔融に伴う、充填層内有効ガス流通路の閉塞挙動を解析することを目的として、革新的軟化熔融シミュレーターとマイクロCT撮影を組み合わせ、ガス流通条件下炭材粒充填層における試薬スラグの熔融挙動の評価を行い、ガス最大圧損を示す時点において形成される通気路の形状とガス圧力損失値についての相関関係について調査を行なった。

東北大学の助永は、高炉滴下帯および融着帯における、熔融スラグの滴下挙動に、大きな影響を及ぼすスラグの表面張力に及ぼす塩基度(CaO/SiO₂比)、アルミナ、酸化鉄濃度および温度の影響を明らかにすることを目的として、ケイ酸塩融体に及ぼす塩基度、アルミナ濃度、酸化鉄の影響について、調査を行なった。

北海道大学の夏井は、高炉滴下帯および融着帯を対象として、熔融スラグ滴下時の組成・鉱石の軟化変形・表面磨耗・粉体懸濁等の影響をそれぞれ考慮した構造・流れ連成シミュレーションモデル構築を行い、鉱石の物性変化に伴う空間的な不均一化へ及ぼす影響について考察することを目的としてMulti-Sphere型離散要素法(MS-DEM)と各種流体解析手法(WC-MPS, WC-SPH, SMAC, SIMPLE)を組み合わせた数値解析を行なった。

4. 研究成果

九州大学の野は、急速加熱・急速冷却が可能な革新的軟化熔融シミュレーターによって得られた軟化・収縮過程のスラグ充填層急冷試料を、マイクロCT撮影することにより、図1に示すように試料融着層内に形成される有効ガス流通路形状を3次元測定し、その形状が圧力損失最大値に及ぼす影響についての調査を行なった。

様々な組成のスラグ充填層試料の熔融挙動評価を行なった結果、ガス最大圧損を示す時点において形成される通気路の3次元形状とガス圧力損失値についての相関関係から、管状通気経路の圧力損失を算出するFanning式(1式)を用いることで、軟化・収縮過程のスラグ充填層内圧力損

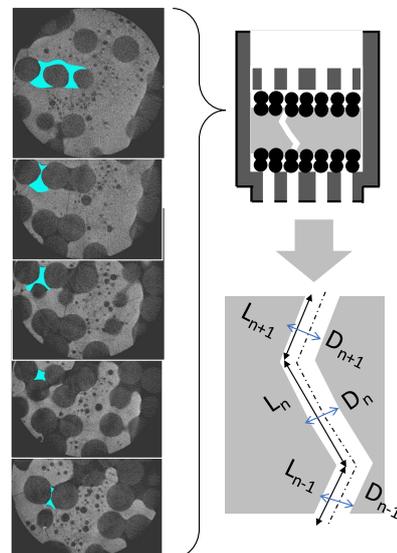


図1. マイクロCT撮影による試料融着層内有効ガス流通路形状3次元測定

失の値を見積もることが可能であることが明らかとなった。

$$\Delta P = \left(\frac{2L}{D}\right)(\rho u^2)f \dots 1 \text{式}$$

本手法は、従来の充填層内圧力損失を、経験的に見積もるために用いられてきた、Ergun式(2式)を使用する方法とは一線を画す、新たな知見であると言える。

$$\frac{\Delta P}{L} g_c = \frac{150\mu_f u}{D_p^2} \cdot \frac{(1-\varepsilon)^2}{\varepsilon^3} + \frac{1.75\mu_f u}{D_p} \cdot \frac{1-\varepsilon}{\varepsilon^3} \dots 2 \text{式}$$

また、スラグ充填層と共存する炭材充填層の炭種が与える影響についての評価を行うため、黒鉛充填層とコークス充填層の比較を行った結果、充填層内に形成される通気路形状が黒鉛とコークスをを用いた際に異なり、コークス中灰分とスラグ相互作用が、炭材と熔融スラグ間の濡れ性に影響を与え、その接触状態に影響を与える可能性を示唆した。さらに金属鉄、酸化鉄、スラグ共存する状況における粒状試料充填層の軟化熔融挙動が評価を通して、金属鉄粒子が軟化収縮に対して抵抗力を示す骨材効果を発揮している傾向を明らかにするとともに、酸化鉄の存在は炭材との反応性を向上するため、充填層内部で生成するスラグ融体の炭素材料に対する濡れ挙動を変化させるという知見を明らかにした。

東北大学の助永は塩基度およびアルミナの影響について、文献データの解析によりそれぞれの成分が表面張力に及ぼす影響を明らかにした。また、文献データの少ないCaO-SiO₂-Al₂O₃-MgO系および酸化鉄を含むスラグについては、リング引き上げ法により実測を行なった。

熔融スラグの成分は、SiO₂をはじめとする網目構成酸化物とCaO, MgOなどの網目修飾酸化物に分類される。修飾酸化物の濃度が増加すると網目構造を構成する架橋酸素が切断され、ケイ酸イオンの重合度が低下することになる。スラグの構造は、ケイ酸塩イオンの重合度で概括的に特徴付けることができるため、本研究では表面張力(文献データおよび実測データ)と重合度との相関関係を調査した。高炉内で生成するスラグの基本成分であるCaO-SiO₂, CaO-SiO₂-Al₂O₃およびCaO-SiO₂-Al₂O₃-MgO系のいずれの表面張力もケイ酸イオンの重合度低下に伴い上昇することが明らかになった。また、スラグ中のケイ酸塩イオンの一部をアルミニウムで置換すると表面張力が上昇することが見出された。これらの現象は、スラグ表面の酸素近傍の配位構造を検討することで理解することができた(成果論文12, 18)。また、様々な酸素分圧下で酸化鉄含有ケイ酸塩スラグの表面張力を測定した結果、Fe²⁺/Fe³⁺比の上昇により、表面張力が上昇する現象が観測された。今後、鉄イオンを含む系を対象に鉄イオンの酸化状態の表面張力への影響を系統的に調査し、表面構造の推測を進めることが望まれる。

北海道大学の夏井は、高炉内原料を模擬した各種サンプルの3D-scanによって劣化原料の表面形状をSTLデータで再現し、levelset法を用いて粒子座標に変換することでLagrange系の力学シミュレーションに反映した。すなわちコークス等製鉄原料の持つ複雑な座標情報3Dデータをサブミリメートルオーダーで抽出し、MS-DEMシミュレーションに供することで、高炉下部充填層の境界条件を得た。さらに、劣化原料の変形挙動を上記力学モデルへフィードバックするとともに、充填層内の液相あるいは固液共存相の存在形態が、幾何学的に圧力損失に与える影響について調査した。

熔融スラグの塩基度(CaO/SiO₂ mass%), Al₂O₃濃度によるスラグ組成および温度による物性変化の影響について、コークスベッド内流下速度、ホールドアップの観点から各物理量の関係性を見出した。以前まで明確になっていなかった静的ホールドアップに対するスラグ粘性の影響について、流路変化の観点から説明できることを発見した。局所的な滞留液滴量が一定の場合における圧力損失量のコークス層構造依存性についてもケールワークを行い、空間的なホールドアップ液滴の不均一性による影響を明らかにした。鉍石の軟化変形を仮定した充填層内の気相流についてEuler-Lagrangeカップリングによる計算を実施し、ガスフローパスの鉍石軟化に伴う形態変化について、シミュレーション結果と幾何解析結果との比較に基づき考察した。鉍石粒子層は、若干の軟化によって重力により変形、まずは層内空隙を占有し、これによって孤立した通気に寄与しない空隙が形成する。さらなる軟化の進行によってコークス層

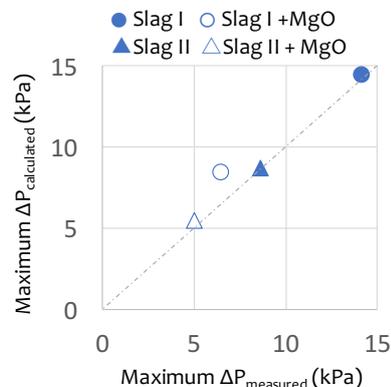


図2. 測定した圧力損失と有効ガス流通路形状から推算した圧力損失の比較

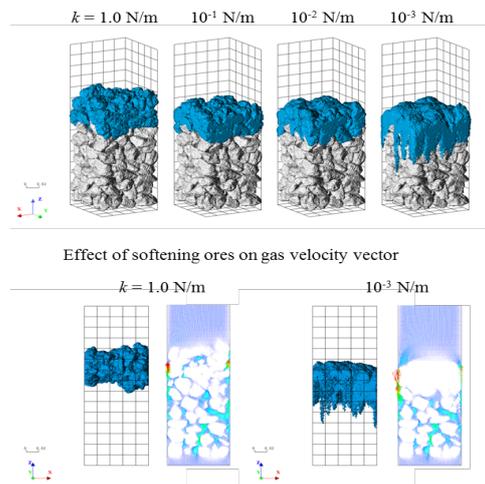


図3. コークスベッド上焼結鉍の軟化挙動およびそれに伴うガス流動挙動変化のEuler-Lagrange型シミュレーション結果

への浸透がもたらされるという二段階の閉塞メカニズムが明らかとなった。充填層中のガスフローは上流側の影響を受け、特定のパスを形成するため鉍石軟化後も基本的にはメインフローパスは変わらないが、垂直方向への流通が限界に達すると分岐が生じることが明らかとなった。

以上3拠点での研究成果を総括し、持続型低炭素製鉄を目指した、革新的軟化溶融シミュレーター内部の原料軟化融着挙動可視化基礎技術が開発された。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計44件 解説記事5件含む)

1. **Shungo Natsui**, Akinori Sawada, “Holdup characteristics of melt in coke beds of different shapes”, *ISIJ International*, Vol. 58, 1742-1744, 2018, 査読有り, 10.2355/isijinternational. ISIJINT-2018-369
2. **Shungo Natsui**, **Ko-ichiro Ohno**, **Sohei Sukenaga**, “Detailed Modeling of Melt Dripping in Coke Bed by DEM-SPH”, *ISIJ International*, Vol. 58, 282-291, 2018, 査読有り, 10.2355/isijinternational. ISIJINT-2017-496
3. **Shungo Natsui**, Akinori Sawada, “DEM-SPH Study of Molten Slag Trickle Flow in Coke Bed”, *Chemical Engineering Science*, Vol.175, 25-39, 2018., 査読有り, 10.1016/j.ces.2017.09.031
4. **Shungo Natsui**, **Ko-ichiro Ohno**, **Sohei Sukenaga**, “Capturing the Non-spherical Shape of Granular Media and Its Trickle Flow Characteristics Using Fully-Lagrangian Method”, *AIChE Journal*, Vol.63, 2257-2271, 2017, 査読有り, 10.1002/aic.15538
5. Cao Son Nguyen, **Ko-ichiro Ohno**, “Effect of carbon dissolution reaction on wetting behaviour of molten Fe-C alloy on graphite substrate in the initial contact period”, *ISIJ International*, Vol.57, 1491-1498, 2017, 査読有り, 10.2355/isijinternational. ISIJINT-2017-054
6. Masanori Tashiro, **Sohei Sukenaga**, Hiroyuki Shibata, “Control of crystallization behavior of supercooled liquid composed of lithium dislocate on platinum substrate”, *Scientific Reports*, Vol.55, 6078-1~6078-6, 2017, 査読有り, 10.1038/s41598-017-06306-9
7. **Shungo Natsui**, Tatsuya Kikuchi, “Observation of Interface Deformation in Sodium Polytungstate Solution Silicone Oil System due to Single Rising Bubble”, *ISIJ International*, vol. 57, 394-396, 2017, 査読有り, 10.2355/isijinternational. ISIJINT-2016-521
8. **Sohei Sukenaga**, Koji Kanehashi, “Structural role of alkali cations in calcium aluminosilicate glasses as examined using oxygen-17 solid-state nuclear magnetic resonance spectroscopy”, *Metallurgical and Materials Transactions B*, vol.47, 2177-2181, 2016, 査読有り
9. Cao Son Nguyen, **Ko-ichiro Ohno**, “Role of Al₂O₃ in Interfacial Morphology and Reactive Wetting Behaviour between Carbon-unsaturated Liquid Iron and Simulant Coke Substrate”, *ISIJ International*, Vol.56, 1325-1332, 2016, 査読有り, 10.2355/isijinternational. ISIJINT-2015-739
10. **Shungo Natsui**, Tatsuya Kikuchi, “Characterization of Liquid Trickle Flow in Poor-wetting Packed Bed”, *ISIJ International*, vol. 55, 1259-1266, 2015, 査読有り, 10.2355/isijinternational. 55.1259
11. **Shungo Natsui**, Hifumi Takai, “Model Study of the Effect of Particles Structure on the Heat and Mass Transfer through the Packed Bed in Ironmaking Blast Furnace”, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Vol. 91, 1176-1186, 2015, 査読有り, 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2015.08.033
12. **Sohei Sukenaga**, Tomoyuki Higo, “Effect of CaO/SiO₂ ratio on surface tension of CaO-SiO₂-Al₂O₃-MgO melts”, *ISIJ International*, Vol.55, 1299-1304, 2015, 査読有り, 10.2355/isijinternational. 55.1299
13. Antti Kempainen, **Ko-ichiro Ohno**, “Softening Behaviors of Acid and Olivine Fluxed Iron Ore Pellets in the Cohesive Zone of a Blast Furnace”, *ISIJ International*, Vol.55, 2039-2046, 2015, 国際共著, 査読有り, 10.2355/isijinternational. ISIJINT-2015-023
14. **Ko-ichiro Ohno**, Shohei Tsurumaru, “Effects of Ash Amount and Molten Ash’s Behavior on Initial Fe Liquid Formation Temperature due to Iron Carburation Reaction”, *ISIJ International*, Vol.55, 1245-1251, 2015, 国際共著, 査読有り, 10.2355/isijinternational. 55.1245
15. **Ko-ichiro Ohno**, Takahiro Miyake, “Effect of Carbon Dissolution Reaction on Wetting Behavior between Liquid Iron and Carbonaceous Material”, *ISIJ International*, Vol.55, 1252-1258, 2015, 査読有り, 10.2355/isijinternational. 55.1252

他：24件

解説記事：5件

16. 夏井 俊悟, 梨元 涼太, 「高温融体界面と分散相挙動の数値解析－Smoothed Particle Hydrodynamics 法の製錬プロセス解析への応用－」, *Journal of MMIJ*, accepted. 査読有り
17. 夏井俊悟, 「充填層の不均一な熱物質移動特性－離散要素による新たな製鉄プロセス設計－」, ふえらむ, 日本鉄鋼協会, Vol. 22, 195-198, 2017, 査読有り
18. 助永壮平, 「ケイ酸塩系スラグの表面張力」, ふえらむ, vol. 22, 143-145, 2017, 査読有り
19. 夏井俊悟, 「離散要素型解法による高炉の数値解析」, *混相流*, 日本混相流学会, vol. 30, 166-173, 2016, 査読有り
20. 夏井俊悟, 菊地竜也, 鈴木亮輔, 「Euler-Lagrange 法による高炉モデル」, まてりあ, 日本金属学会, vol. 54, 432-435, 2015, 査読有り

〔学会発表〕(計 58 件, 招待講演 10 件含む)

国際会議 : 25 件 招待講演 6 件含む

1. Ko-ichiro Ohno, “Visualization for Molten Slag Clogging Behavior during Softening and Melting of Slag Particles Packed Bed with Micro CT Observation”, 148th Annual Meeting and Exhibition TMS2019, 2019, **招待講演**
2. Ko-ichiro Ohno, “Apparent Softening Viscosity Measurement of Granulated Slag Packed Bed with Softening and Melting Simulator”, 8th International Congress on the Science and Technology of Ironmaking, 2018.
3. Shungo Natsui, “Detailed DEM-SPH Simulation of Melt Passing Phenomena in Various Coke Bed”, 8th International Congress on the Science and Technology of Ironmaking, 2018.
4. Shungo Natsui, “A direct numerical simulation of trickle flow in non-spherical particle beds”, 1st International Conference on Energy and Material Efficiency and CO₂ Reduction in the Steel Industry, 2017.
5. Ko-ichiro Ohno, “Role of Carbon Dissolution Reaction in the Initial Contact Period of Carbon-unsaturated Fe-C Sample Wetting on Graphite Substrate”, 1st International Conference on Energy and Material Efficiency and CO₂ Reduction in the Steel Industry, 2017.
6. Sohei Sukenaga, “Wettability-induced change in crystallization behavior of supercooled liquids composed of Li₂O-SiO₂”, CIMTEC2018, 2018
7. Shungo Natsui, Ko-ichiro Ohno, Sohei Sukenaga, “New Discrete Element Simulation for Trickle Flow in Blast Furnace”, European Steel Technology and Application Days 2017, 2017
8. Shungo Natsui, “Development of Fully-Lagrangian Numerical Simulation for Multi-phase Flow in Metallurgical Processes, The Eleventh Korea-Japan Workshop on Science and Technology in Ironmaking and Steelmaking, 2016, **招待講演**
9. Ko-ichiro Ohno, “Challenging analysis for complex system using cohesive zone simulator with rapid heating and rapid cooling”, Advanced reduction metallurgy and coke research, 2016, **招待講演**
10. Cao Son Nguyen, Ko-ichiro Ohno, “A Wettability Measurement Method for Reactive Wetting Behavior of Liquid Iron on Carbonaceous Material Substrate”, Advanced reduction metallurgy and coke research, 2016, **招待講演**
11. Ko-ichiro Ohno, Cao Son Nguyen, “Effect of Simulant Ash on Reactive Wetting Behavior between Carbon-unsaturated Liquid Iron and Carbonaceous Material Substrate”, 2nd International Conference on Smart Carbon Saving and Recycling for Ironmaking, 2016, **招待講演**
12. Shungo Natsui, Tatsuya Kikuchi, “Particle-based Multiphase Flow Simulation for Low Carbon Ironmaking Design”, Asia Steel International Conference 2015, 2015
13. Sohei Sukenaga, Koji Kanehashi, 15th International conference on the physics of non-crystalline solids & 14th European society of glass conference, 2018
14. Sohei Sukenaga, Tomoyuki Higo, “Surface tension of CaO-SiO₂-Al₂O₃-MgO melts”, Asia Steel International Conference 2015, 2015
15. Ko-ichiro Ohno, “Current Challenges of Japanese Ironmaking Technology”, 2015 Sustainable Industrial Processing Summit, 2015, **招待講演**
16. Ko-ichiro Ohno, Shohei Tsurumaru, “Effects of carbonaceous material’s ash on iron carburization at initial reaction stage”, European Steel Technology and Application Days 2015, 2015
17. Ko-ichiro Ohno, Takahiro Miyake, “Effect of simulant ash on wetting behavior of liquid iron on carbonaceous material substrate”, AISTech - Iron and Steel Technology Conference, 2015

他 8 件

国内会議：33件 招待講演4件含む

18. 問谷一偉, **夏井俊悟**, 鈴木亮輔, SPH法によるコークス表面の濡れ性・滑落性を考慮した溶鉄-熔融スラグ流動解析, 日本鉄鋼協会第177回春季講演大会, 2019
19. **大野光一郎**, **夏井俊悟**, “酸化鉄および模擬脈石成分を含有したタブレット型試料の高温軟化変形挙動”, 日本鉄鋼協会第177回春季講演大会, 2019
20. **大野光一郎**, **助永 荘平**, **夏井俊悟**, スラグ粒充填層軟化熔融時の圧力損失に及ぼす炭材層の影響, 日本鉄鋼協会第177回春季講演大会, 2019
21. 昆竜矢, **大野光一郎**, **夏井俊悟**, 円管近似による充填構造データからの圧力損失の予測, 日本鉄鋼協会第177回春季講演大会, 2019
22. **夏井俊悟** “製錬プロセスにおける分散相と融体界面移動の数理モデル”, 日本鉄鋼協会第175回春期講演大会, 2018, **招待講演**
23. **大野光一郎** “製鉄工程内発生高温融体の生成機構及び物理化学的性質”, 日本鉄鋼協会第175回春期講演大会, 2018, **招待講演**
24. 喜多村佳輝, **大野光一郎**, **助永 荘平**, **夏井俊悟**, “スラグ粒充填層軟化熔融時の圧力損失に及ぼすスラグ表面張力の影響”, 日本鉄鋼協会第174回秋季講演大会, 2017
25. **夏井俊悟**, 澤田 旺成, **大野光一郎**, **助永 荘平**, コークス層内熔融スラグ流れのDEM-SPHシミュレーション, 日本鉄鋼協会第174回秋季講演大会, 2017
26. **夏井俊悟**, 澤田旺成, **大野光一郎**, **助永 荘平**, “コークス層内融体流れの数学モデル”, 日本鉄鋼協会第174回秋季講演大会, 2017
27. **夏井俊悟**, “Euler-Lagrange法による高炉充填層の熱・物質移動シミュレーション”, 第173回日本鉄鋼協会第173回春季講演大会, 2017, **招待講演**
28. **助永 荘平**, 肥後智幸, “CaO-SiO₂-Al₂O₃-MgO系融体の表面張力に及ぼすCaO/SiO₂比の影響”, 日本鉄鋼協会第173回春季講演大会, 2017, **招待講演**
29. **大野光一郎**, 三浦慎也, “異種炭材を用いた純鉄の荷重条件下における浸炭熔融挙動の観察”, 日本鉄鋼協会第172回秋季講演大会, 2016
30. **夏井俊悟**, 菊地竜也, “Euler-Lagrange法による低炭素製鉄を目指した充填層内ガス流れと還元挙動の同時解析”, 日本鉄鋼協会第171回春季講演大会, 2016
31. **大野光一郎**, 前田敬之, “急速昇温・急速冷却が可能な荷重軟化試験装置によるスラグ粒充填層軟化熔融挙動の調査”, 日本鉄鋼協会第170回秋季講演大会, 2015

他 19 件

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

- 出願状況 (計 0 件)
- 取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等 なし

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名：夏井 俊悟
ローマ字氏名：Shungo Natsui
所属研究機関名：東北大学
部局名：多元物質科学研究所
職名：助教
研究者番号 (8 桁)：70706879

研究分担者氏名：助永 荘平
ローマ字氏名：SUKENAGA Sohei
所属研究機関名：東北大学
部局名：多元物質科学研究所
職名：准教授
研究者番号 (8 桁)：20432859

(2) 研究協力者 なし

※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、研究者個人に帰属されます。